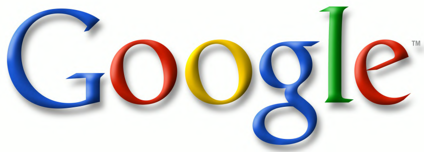
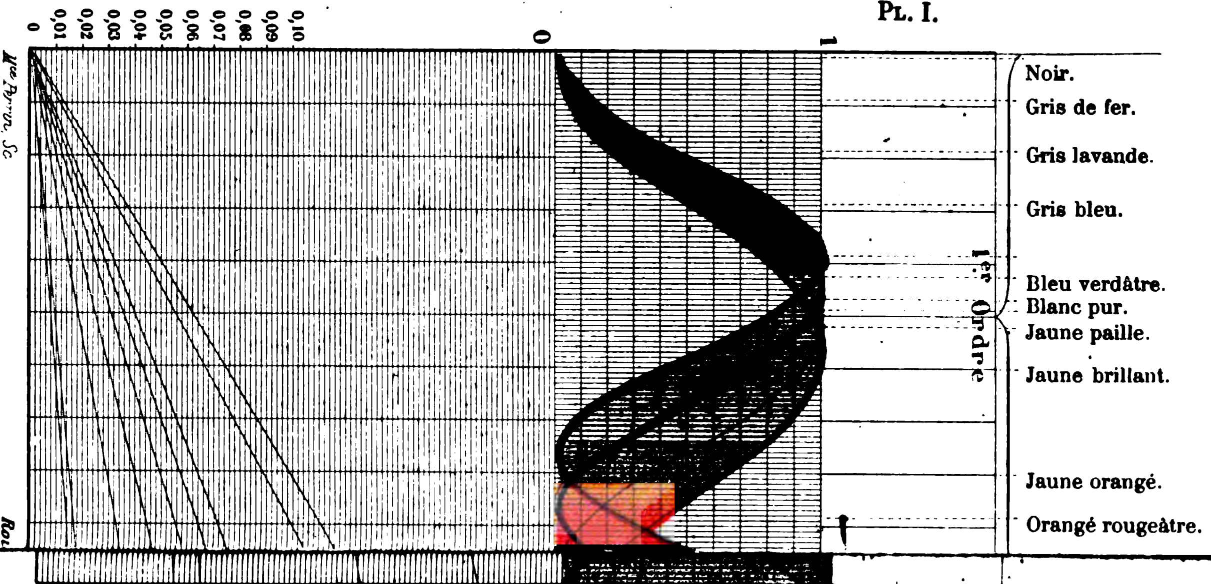


LES ROCHES

ET

leurs Éléments minéralogiques

Pl. I.



Noir.
Gris de fer.
Gris lavande.
Gris bleu.
Bleu verdâtre.
Blanc pur.
Jaune paille.
Jaune brillant.
Jaune orangé.
Orangé rougeâtre.
1er Ordre
1
0
0,10
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
Mce Perrin, Sc

ED. JANNETTAZ

MAITRE DE CONFÉRENCES A LA SORBONNE

ASSISTANT DE MINÉRALOGIE AU MUSÉUM



LES ROCHES

ET

leurs Éléments minéralogiques

Descriptions — Analyses microscopiques

Structures — Gisements



4e édition, revue et augmentée

AVEC 2 CARTES GÉOLOGIQUES

20 PLANCHES CHROMOLITHOGRAPHIQUES

8 planches en simili-gravure et 322 figures



PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN ET FILS

LIBRAIRES DE S. M. LE ROI DE SUÈDE

6, RUE DE LA SORBONNE, 6

1910



PRÉFACE DE LA 3e ÉDITION

Les progrès obtenus depuis quelques années dans la connaissance des éléments des roches et dans leur détermination, depuis l'époque où a paru la deuxième édition de ce traité nous ont engagé à donner à la troisième l'ampleur nécessaire aux besoins de la science moderne.

Comme nous le disions dans notre édition précédente, on ne peut comprendre la structure du globe sans connaître ces masses minérales, qui en sont les matériaux.

Ce n'est pas seulement les chimistes, les géologues, les mineurs, les industriels, que cette étude intéresse; elle est aussi importante pour le sculpteur, qui cherche un beau marbre statuaire, et pour l'architecte, qui doit connaître d'abord la constitution du sol sur lequel il bâtit, puis celle des pierres propres à la construction des édifices ou à leur ornementation; elle est également nécessaire à l'agronome, qui ne doit pas ignorer la qualité des terres arables.

Les roches sont ordinairement des mélanges de substances qu'on ne discerne exactement qu'au moyen de grossissements considérables. Elles peuvent offrir souvent les mêmes caractères extérieurs et se ressembler fort peu au fond par leur composition élémentaire, ou bien, inversement, être constituées en réalité à peu près de même, tout en ayant une physionomie assez différente. Aussi l'étude en a-t-elle été longtemps douteuse; elle a dû

attendre les perfectionnements des instruments et des méthodes pour mener à des connaissances véritablement scientifiques.

Appliqué à l'observation des propriétés optiques des cristaux transparents, — et ils le sont presque tous, lorsqu'on les regarde en lames suffisamment minces, — le microscope a permis d'atteindre les plus petits éléments des roches, d'en estimer plus sûrement les proportions relatives, de préciser les caractères de ceux qu'on connaissait déjà et d'en apercevoir qui étaient inconnus.

Dans nos deux premières éditions nous avions indiqué les découvertes déjà faites dans cette voie.

Aujourd'hui, nous sommes forcés de donner un beaucoup plus grand développement à l'observation des sections minces en lumière naturelle ou polarisée; mais tous ces faits nouveaux s'appuyant sur un assez grand nombre de principes tirés d'autres sciences, nous aurions pu renvoyer à chaque instant le lecteur à ces sciences et à leurs traités. Nous avons pensé que notre ouvrage serait plus réellement utile en se suffisant autant que possible à lui-même et, au risque d'en augmenter l'étendue, nous y avons introduit un résumé succinct, mais embrassant les notions gréomé triques et optiques nécessaires à l'intelligence des caractèes des-espèces minérales que nous trouvons dans les roches comme éléments essentiels.

Ce résumé, qu'on peut considérer comme un traité élémentaire de Cristallographie physique, *forme notre premier livre. On remarquera les développements que nous avons donnés aux propriétés optiques; ils étaient exigés par l'importance que ces propriétés ont prise dans la distinction et la détermination des espèces minérales.*

Le second livre est un précis de minéralogie : car, lorsqu'il s'agit de choisir parmi les minéraux ceux que peuvent renfermer les roches, on est fort embarrassé. On doit, il est vrai, tenir compte de leur abondance ou de leur rareté : les uns sont des éléments essentiels, *d'autres ne sont que des éléments* accessoires *des roches. Il en est enfin qui n'y jouent que le rôle d'éléments*

accidentels *qui peuvent même ne s'y rencontrer que très rarement; mais comme, au moment où l'on aperçoit un minéral dans une roche, on ne sait s'il y est rare ou fréquent d'habitude, on a toujours besoin de le distinguer des autres et l'on se voit forcé peu à peu à les étudier à peu près tous.*

Le troisième livre est exclusivement consacré à la description des roches.

Pour mettre ce traité, sur l'ensemble des roches, au niveau des connaissances actuelles, nous avons consulté les mémoires et les publications des savants de tous les pays, et nous leur avons emprunté bon nombre de renseignements, et même quelques figures pour notre second livre.

Sans parler des ouvrages qui sont depuis longtemps dans le domaine public, nous citerons seulement la Mikroskopische Physiographie der massigen Gesteine *de M. Rosenbusch, le traité de M. Zirkel intitulé :* Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine, *la* Collection microphotographique (Mikrophotographische Sammlung) *de M. Cohen.*

En terminant cette préface, nous remercions vivement MM. Fouqué et Michel Lévy d'avoir bien voulu nous autoriser à faire à M. le Ministre des Travaux publics la demande, qui nous a été gracieusement accordée, de reproduire quelques figures de leur grand ouvrage sur la Minéralogie micrographique des roches éruptives françaises.

PREMIER LIVRE

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES

DES

MINÉRAUX ET DES ROCHES

LES ROCHES

PREMIÈRE PARTIE

CARACTÈRES PRÉLIMINAIRES

Avant d'étudier la composition des roches et les propriétés qui les caractérisent, il faut nécessairement connaître les éléments dont elles sont l'association. Ces éléments sont des matières minérales de diverses compositions chimiques et de propriétés différentes. Deux matières minérales appartiennent à la même espèce, à la double condition qu'elles contiennent les mêmes éléments chimiques unis dans les mêmes proportions et que ces éléments y présentent le même arrangement moléculaire. L'arrangement moléculaire se manifeste par les propriétés physiques et géométriques qu'il communique à la masse, lorsqu'elle se constitue en corps défini, et la composition chimique se détermine par l'analyse.

Deux matières minérales peuvent différer par la quantité relative et par la qualité même de leurs éléments chimiques simples et avoir néanmoins les mêmes propriétés physiques. C'est ce qu'on observe dans plusieurs des groupes de silicates que Werner avait formés si heureusement en y réunissant, à cause des analogies frappantes de leurs caractères extérieurs, des matières minérales qui n'ont rien de commun chimiquement que de contenir de la silice.

Les groupes d'*isomorphes* sont ceux de composés qui ne diffèrent que par la nature de leurs éléments, mais dans lesquels ces éléments présentent des teneurs proportionnelles à leurs poids moléculaires et peuvent se substituer en partie les uns aux autres,

formant ensemble des arrangements de même type, qui donnent lieu à des propriétés physiques et à des formes presque identiques. Tels sont les carbonates anhydres (MCO^3) de chaux, de magnésie, de fer, de manganèse, de zinc, qui peuvent, isolément ou associés, former des masses cristallines, à clivages rhomboédriques, et possèdent les mêmes propriétés physiques. Tels aussi les sulfates de plomb, de baryte, de strontiane ; tels les sulfoarséniures de nickel, de cobalt et de fer, où l'arsenic peut être de son côté remplacé par de l'antimoine, tandis que les métaux se substituent l'un à l'autre.

On voit souvent, au contraire, des matières, identiques au double point de vue de la nature et des proportions de leurs éléments chimiques, différer complètement l'une de l'autre par leurs propriétés. Ce fait, qu'on appelle *isomérie*, est commun en chimie. La différence se manifeste surtout pour les espèces minérales dans leur structure cristalline et dans les formes et les propriétés physiques subordonnées à la structure. On appelle *polymorphes* les corps qui peuvent se présenter ainsi sous plusieurs formes ; tels le bisulfure de fer, cubique dans la pyrite, orthorhombique dans la marcasite et le carbonate de chaux, rhomboédrique dans le calcaire, orthorhombique dans l'aragonite.

En dernière analyse, la connaissance complète d'une espèce minérale implique toujours celles de sa composition chimique, de ses formes géométriques, de ses propriétés physiques.

Ce qui est remarquable dans la plupart des espèces minérales, qui se présentent un peu fréquemment dans la nature, c'est le nombre considérable de leurs variétés. Ces variétés possèdent toutes dans une même espèce certaines propriétés communes, la densité, la composition chimique, et d'autres qui ne leur conviennent que lorsqu'elles sont parvenues à une structure cristalline régulière, telles que les formes géométriques et les propriétés physiques subordonnées à la structure.

Nous exposerons d'abord les propriétés communes à toutes les variétés, puis celles qui sont particulières aux corps cristallisés.

CHAPITRE PREMIER

CARACTÈRES COMMUNS A TOUTES LES VARIÉTÉS

Nous appelons ainsi les caractères qui conviennent aux variétés douées ou non de la structure cristalline.

§ 1. — DENSITÉ OU POIDS SPÉCIFIQUE

On appelle poids spécifique ou densité d'une pierre le nombre qui exprime combien de fois le poids d'un certain volume de cette pierre contient celui d'un égal volume d'eau.

On emploie pour cela un assez grand nombre de procédés. Nous laisserons aux livres assez étendus pour contenir l'histoire de la science la description de ce vieil instrument, appelé *aréomètre*, qui fournit des évaluations trop grossières.

Méthode hydrostatique. — C'est le meilleur procédé. On se procure une bonne balance, qui n'a pas besoin d'être bien grande, mais qui doit être sensible au demi-milligramme. On donne à la colonne qui supporte le fléau une plus grande hauteur que dans les trébuchets ordinaires (fig. 1). On remplace l'un des plateaux par un petit disque plat et mince, A, muni en dessous d'un crochet. Dans ce crochet on passe la boucle d'un fil de platine *ab*, qu'on choisit aussi fin que possible, et dont l'extrémité inférieure est nouée à trois autres fils du même métal; ceux-ci s'attachent à un petit panier *c*, formé d'un treillis de platine ou d'un métal inaltérable et tenace, à mailles très étroites. On pose sur le disque A la pierre dont on cherche la densité. On plonge le panier, qui est attaché au crochet *a*, dans un verre rempli aux deux tiers d'eau distillée.

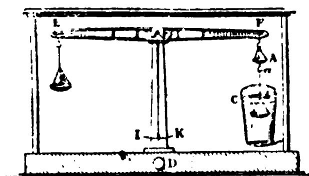


Fig. 1.

Première opération. — Elle consiste à mettre la balance en équilibre. Pour y parvenir, on introduit dans le plateau B des

poids ou de la grenaille de plomb, en quantité telle que le fléau EF reste horizontal, lorsqu'on le soulève au moyen du bouton D. On voit que le fléau est horizontal, lorsque l'extrémité de l'aiguille, perpendiculaire au fléau, se trouve vis-à-vis du zéro d'un arc divisé IK.

Deuxième opération. — La pierre est retirée du disque A. Supposons que ce soit un diamant. Le fléau penche du côté B, quand on tourne le bouton D. On met sur le disque A des poids marqués, en quantité suffisante pour établir de nouveau l'équilibre. Ceux-ci se trouvent exactement dans les mêmes conditions que la pierre qu'ils remplacent, et ils en représentent rigoureusement le poids. Soit $1^{gr},048$, ce poids.

Troisième opération. — On enlève les poids du disque A. La pierre est remise dans la balance, mais cette fois dans le panier *c*; elle est par conséquent plongée dans l'eau. En vertu du principe d'Archimède, elle subit une poussée verticale, égale au poids de l'eau déplacée; le fléau n'est donc plus horizontal : il incline du côté du plateau B, lorsqu'on tourne le bouton D. On remet sur le disque les poids marqués nécessaires au nouveau rétablissement de l'équilibre. Ces poids qu'on ajoute, c'est ce que la pierre a perdu dans l'eau.

On a, par exemple, été obligé de mettre sur le disque $0^{gr},298$; c'est le poids de l'eau déplacée, celui d'un volume d'eau égal à celui de la pierre; car il est évident que celle-ci déplace un volume d'eau égal au sien. On n'a donc plus qu'à diviser $1^{gr},05$ par $0^{gr},298$

$$\frac{1,05}{0,298} = 3,52.$$

Procédé de M. Damour. — M. Damour a modifié la méthode précédente, comme il suit, pour la rendre tout à fait exacte. Il substitue au treillis de platine un creuset très petit et très léger du même métal.

Première opération. — Après avoir attaché au crochet *a* le petit creuset, on le plonge dans un vase rempli d'eau distillée, récem-

ment bouillie ; on établit l'équilibre. Soit P′ le poids du creuset dans l'eau.

Deuxième opération. — On introduit dans le creuset le corps réduit en petits grains dont la grosseur ne doit pas dépasser celle d'un grain de millet ; on établit l'équilibre après quelque temps pour permettre à l'eau de bien mouiller le corps. Soit P″ le poids du creuset et du corps dans l'eau.

Troisième opération. — On retire le creuset ; on l'accroche à un petit support au-dessus d'une lampe qui doit donner une température très peu élevée, à peu près celle d'une veilleuse, afin d'éviter les soubresauts, et l'on évapore jusqu'à siccité.

Une fois le creuset bien sec, on le pèse. Soit P le poids du creuset et du corps qu'il contient.

Quatrième opération. — On vide le creuset ; on le pèse. Soit p son poids.

Calcul de la densité. — Le poids du corps est $P - p$.

Il faut chercher son volume.

Soit d'abord π le volume du creuset.

La première opération a fait connaître P′ qui est le poids du creuset diminué de celui de l'eau qu'il déplace.

$$P' = p - \pi \qquad \pi = p - P'$$

Soit ensuite π'' le volume d'eau égal à celui du corps.

La deuxième opération a fait connaître P″ qui est le poids du creuset et du corps diminué du poids de l'eau déplacée par le creuset et le corps.

$$P'' = P - \pi - \pi'' = P - (p - P') - \pi''$$
$$\pi'' = P - p + P' - P''$$

Si la densité cherchée est D,

$$D = \frac{P - p}{P - p + P' - P''} = \frac{P - p}{P - p - (P'' - P')}$$

Ex. Orthose du Saint-Gothard.

Poids du creuset dans l'eau	2gr,974	P'
Poids du creuset et de la matière dans l'eau . .	4gr,807	P"
Poids du creuset et de la matière dans l'air . .	6gr,123	P
Poids du creuset seul dans l'air	3gr,1016	*p*

$$D = \frac{6^{gr},123 - 3,106}{6,123 - 3,106 - (4,807 - 2,974)} = \frac{3,017}{1,184} = 2,548$$

Pour avoir la densité du corps à 0°, il faudrait multiplier le nombre précédent par $(1 + kt)$, k étant le coefficient de dilatation cubique de ce corps, t la température lors de l'expérience, et le diviser par δ_t, δ_t étant la densité de l'eau à $t°$; on trouve cette densité dans les tables; on opère à une température peu élevée, afin d'éviter les corrections.

Méthode du flacon. — Elle est décrite dans les traités de physique.

Balance de Westphall. — Aujourd'hui, pour obtenir rapidement une mesure qui suffit à la détermination pratique d'un grand

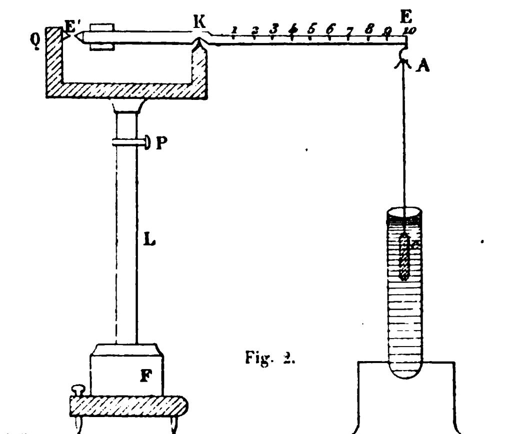


Fig. 2.

nombre de silicates et particulièrement des feldspaths, dont les densités sont cependant très voisines, on emploie couramment, dans un grand nombre de laboratoires, la balance de Westphall, appropriée à cette recherche.

Cette balance (fig. 2) se compose d'un fléau EE′ supporté par une colonne creuse, d'un plongeur *e* qu'on descend dans une éprouvette à pied destinée à recevoir les liquides et des poids en forme de fer à cheval A.

Le fléau a ses deux bras inégaux KE, KE′; le plus court porte à son extrémité un contrepoids cylindrique terminé par une pointe E′. L'autre bras est divisé en dix parties égales et entaillé à chaque division. Les divisions sont numérotées de 1 à 10.

La dixième porte un couteau E, dont l'arête est tournée vers le haut. Un crochet, auquel on suspend le plongeur, repose sur le couteau.

Les poids sont de plusieurs sortes : les plus gros, égaux entre eux, placés sur la division 10, indiquent les unités; placés sur la division 1, des dixièmes; les moyens tous égaux, mais dix fois plus petits que les précédents, indiquent des dixièmes quand ils sont sur la dixième division, et des centièmes quand ils sont sur la première; enfin, des poids dix fois plus faibles que les moyens, et cent fois que les plus gros, correspondent aux centièmes quand ils sont placés sur la dixième division, à des millièmes quand ils sont sur la première.

Vérification de la balance et des poids. — Il est toujours bon de s'assurer par soi-même de l'exactitude des divisions et des poids, quand il s'agit de prononcer entre des substances de densités très voisines.

On met d'abord le socle du support sur une table horizontale. L'appareil est le niveau, quand la pointe E′ du bras le plus court se trouve vis-à-vis la pointe de la partie fine Q. La vis permet d'établir le niveau.

On remplit l'éprouvette d'eau pure à la température ordinaire, d'environ 15°. Lorsqu'on y descend le plongeur au moyen de la vis P, l'équilibre est rompu. Pour le rétablir, on met sur la dixième division ou sur le crochet portant le plongeur un des poids donnant le chiffre des unités, celui qui porte à son sommet un œil qui le destine à cette suspension. La balance doit être construite de

manière à ce que l'équilibre ait lieu dans ces conditions. Tous les poids égaux accrochés ou suspendus doivent donner le même résultat s'ils sont exacts.

Avec les mêmes poids on peut vérifier la justesse des divisions. On les place deux à deux, l'un sur la division 1, l'autre sur la division 9; puis, l'un sur la division 2, l'autre sur la division 8, etc.; l'équilibre doit subsister.

On vérifie ensuite les poids moyens. On place le poids correspondant aux unités sur la division 9, et l'un des poids moyens sur la division 10; rien ne doit être changé dans l'état d'équilibre. On vérifie les poids plus petits par un procédé analogue.

La balance est construite de façon que les poids, accrochés aux différentes divisions du fléau pour le maintenir horizontal dans les différents liquides où l'on fait descendre le plongeur, font connaître les densités de ces liquides.

Elle ne permet de mesurer les densités des matières minérales que d'une façon indirecte, et elle ne comporte pas la même précision que la balance hydrostatique, mais elle se prête mieux à la mesure des densités de matières qu'on n'a quelquefois qu'en très petits fragments; les déterminations qu'elle procure sont rapides, simples et suffisantes pour différencier les substances.

La mesure se réduit à deux opérations :

1° L'on réalise au moyen d'iodure de méthylène, dont la densité est 3,35, et d'éther ordinaire, dont la densité est 0,75 à 0°, un mélange ayant même densité que la matière, de façon que celle-ci flotte dans le mélange, lorsqu'elle y est introduite.

2° A l'aide de la balance on mesure la densité du liquide ainsi préparé. On peut, d'ailleurs, si l'on a besoin d'une grande précision, mesurer la densité du liquide avec les balances et d'après les méthodes familières aux physiciens.

Balance de M. Pisani. — M. Pisani prend le poids du corps au moyen d'une bonne petite balance, facile à tenir à la main; il mesure le volume de l'eau déplacé par le corps en centimètres cubes et, par conséquent, son poids en grammes, au moyen d'un

tube divisé renfermant une quantité d'eau, dont le volume est mesuré par la division du tube en regard de laquelle se trouve son niveau supérieur; le corps étant introduit dans le tube y fait remonter le niveau de l'eau jusqu'à une nouvelle division ; en retranchant de celle-ci la première, on connaît le nombre de centimètres cubes occupés par l'eau que le corps a repoussée autour de lui. La balance et le tube gradué se logent ensemble dans une boîte qui permet d'emporter l'instrument avec soi en voyage.

§ 2. — DURETÉ — CASSURE

Dureté. — Une pierre est dite plus dure qu'une autre, lorsqu'elle la raie et que, au contraire, elle n'en est pas rayée. Le diamant, par exemple, est plus dur que la topaze. Pour le constater, on frotte une petite facette d'un diamant avec le sommet d'une des pyramides qui terminent les cristaux de topaze : on voit que ce sommet devient mousse, et, si la face de diamant se couvre d'une petite traînée blanchâtre, en passant le doigt sur cette poussière laissée par la topaze, on l'enlève. Vient-on à frotter, au contraire, une face d'un cristal de topaze avec la pointe d'un diamant, celle-ci entre dans le cristal et y trace un sillon que le frottement du doigt ne fait plus disparaître. Il est facile d'effacer ce sillon en polissant de nouveau la face qui n'a pu résister à cette épreuve.

Mohs a choisi dix substances cristallisées, qu'il prend comme termes de comparaison, et dont l'ensemble a reçu le nom d'*échelle des duretés*. Voici cette échelle :

10. Diamant (carbone).
9. Corindon (alumine).
8. Topaze (fluosilicate d'alumine).
7. Quartz hyalin ou cristal de roche (acide silicique).
6. Orthose (silicate d'alumine et de potasse).
5. Apatite (chlorophosphate de chaux).
4. Fluorine (fluorure de calcium).
3. Calcaire (carbonate de chaux rhomboédrique).

2. Gypse (sulfate de chaux hydraté).

1. Graphite (carbone).

L'émeraude est plus dure que le numéro 7 ; elle l'est moins que le numéro 8 ; on représente cette dureté intermédiaire entre les deux numéros 7 et 8 par le numéro 7,5. Ordinairement, au lieu d'essayer ainsi tous les termes de l'échelle, on fait un premier essai avec l'ongle ; on distinguera ainsi facilement le gypse d'avec le calcaire ; ensuite, on a recours à la pointe d'un burin ou à celle d'un canif. Tout ce qui est rayé par une pointe d'acier est au plus aussi dur que l'apatite (nº 5). Puis on essaie d'une pointe de cristal de roche ; toutes les substances rayées par le quartz sont des gemmes demi-dures ; à l'exception de l'opale, elles n'ont qu'une médiocre valeur.

On pourra ainsi distinguer du premier coup les lamelles de calcaire, de fluorine, de barytine, qui se rayent facilement, d'avec celles de feldspath, quartz, etc., qui ne sont pas entamées par le burin.

On peut essayer la dureté d'une matière pulvérulente entre deux lames de verre qu'on frotte l'une contre l'autre, et l'on regarde si le verre est rayé. L'on peut même sur une lame mince projeter, puis promener au moyen d'une lame de verre une poudre de dureté connue, puis observer au microscope quelles sont les régions de la lame rayées ou non sur la lame.

Cassure. — Quant aux caractères tirés de la cassure, l'on comprend facilement le sens des termes : *cassure vitreuse*, où donnant lieu à des surfaces inégales ; *cassure conchoïde*, produisant des surfaces courbes qui rappellent les formes extérieures des coquilles ; *cassure esquilleuse* ou *écailleuse*, lorsque la surface qui en résulte présente des esquilles, comme celle d'un morceau de bois fendu, ou des espèces d'écailles en retrait les unes sur les autres ; *cassure plate*, lorsque le marteau donne lieu à des surfaces planes ou presque planes. L'on appelle *cassure spathique* celle qui fait obtenir des faces géométriquement planes et qui n'existe dans un minéral que s'il est cristallisé ; cette propriété se

rattachant au clivage, nous en renvoyons l'étude à la cristallographie. Nous rappellerons seulement que, si des cristaux se clivent sous le choc du marteau ou à l'aide d'une lame de canif, les masses qu'ils forment par leur assemblage sont dites *laminaires*, si les faces de clivage sont très étendues; *lamellaires*, si elles le sont peu.

Élasticité. — C'est la propriété que possède un corps de reprendre sa figure et sa situation dans l'espace, lorsqu'il a été déformé ou écarté de sa position d'équilibre. Le mica est une des matières les plus élastiques, lorsqu'on le prend en feuillets minces. Le gypse en lames également minces est assez flexible, mais beaucoup moins élastique. L'asbeste, le talc, très flexibles, n'ont aucune élasticité.

Ténacité. — C'est la propriété que possèdent les corps de résister plus ou moins à l'action du choc. Le jade, par exemple, se casse très difficilement; cette propriété n'est généralement pas consultée, si ce n'est pour des matières de faible valeur, puisqu'elle les détruit.

Malléabilité. — Il en est de même de la malléabilité, propriété que présentent certains corps de s'écraser, sans se rompre, et qui n'appartient guère qu'aux métaux ou à quelques substances métallifères, telles que le chlorure ou le sulfure d'argent.

Ductilité. — Rare chez les minéraux est la propriété de s'étirer en fils; les métaux natifs sont à peu près les seuls à la présenter.

Flexibilité. — Cette propriété ne se montre que dans certaines espèces qu'on trouve en grandes lames faciles à obtenir au moyen d'un instrument tranchant, telles que le mica, le talc, le gypse, ou dans les grandes masses minérales, telles que les marbres, en grandes plaques, après le sciage, mais à condition ordinairement qu'elles aient gardé leur eau de carrière. Certaines substances fibreuses, l'asbeste par exemple, ou quelques variétés de mésotype ont une grande flexibilité.

Certaines roches quartzeuses, comme les itacolumites ou *grès flexibles du Brésil*, doivent leur flexibilité à la manière dont les grains qui les composent jouent les uns sur les autres.

§ 3. — DES COULEURS EN LUMIÈRE NATURELLE; DE L'ÉCLAT.

Les propriétés les plus faciles à constater, celles qui fournissent le plus vite des renseignements sur la nature des corps, sont les colorations qu'ils présentent, soit lorsqu'ils réfléchissent, soit lorsqu'ils transmettent la lumière qu'ils reçoivent.

Lorsqu'un corps absorbe ou éteint toute la lumière qui le traverse, il est appelé *opaque*. On le dit *transparent*, s'il permet de voir distinctement au travers de sa masse les contours des objets; *translucide*, s'il ne les laisse apercevoir que vaguement, si, par exemple, tout en laissant tamiser la lumière, il ne permet pas de lire les caractères d'un livre placé par derrière.

L'opacité absolue est rare ; la plupart des corps opaques deviennent transparents, ou au moins translucides, lorsqu'ils sont vus en lames très minces.

La couleur réfléchie par un corps peut s'observer sur sa masse ou sur sa poussière qu'on obtient en le broyant dans un mortier. On se contente ordinairement de le frotter sur un corps blanc plus dur, en général sur du biscuit de porcelaine, où il laisse une tache ou une raie.

Les couleurs examinées dans ces conditions caractérisent un certain nombre d'espèces minérales. Nous citerons, parmi les matières dont la poussière possède une couleur essentielle, les arséniates de cobalt (poussière violette ou rose) ; les sels de cuivre (poussière bleue ou verte) ; l'orpiment (poussière jaune-serin) ; la limonite (poussière jaune) ; le chromate de plomb, le réalgar (poussière orangée) ; les argents rouges, l'oligiste, le cinabre (poussière rouge) ; la manganite (poussière brune) ; la magnétite, le sulfure d'argent (poussière noire).

Couleurs observées par transparence. — Elles tiennent souvent à des teintures de la substance qui en est douée accidentellement. Un grand nombre de silicates, par exemple, dénués de bases colorantes, présentent les plus vives couleurs, lorsqu'on les

regarde par transparence, bien qu'ils aient par eux-mêmes des poussières incolores. C'est que leur coloration provient du mélange de quantités, souvent assez petites pour échapper à l'analyse, d'oxydes à pouvoir colorant très intense qui les teignent en quelque sorte. Aussi la même espèce minérale peut-elle, en général, offrir une grande variété de teintes. C'est ce qu'on voit en particulier dans l'alumine cristallisée ou corindon. Le corindon des minéralogistes, par exemple, porte dans le commerce des noms bien variés :

Améthyste orientale (corindon violet),
Rubis oriental (corindon rouge),
Émeraude orientale (corindon vert),
Saphir oriental (corindon bleu),
Topaze orientale (corindon jaune).

Le mot d'*oriental* a précisément pour but de distinguer les pierres colorées appartenant au corindon de celles qui appartiennent à d'autres espèces. Le quartz hyalin ou cristal de roche est par lui-même incolore ; mais il prend le nom d'*améthyste*, lorsqu'il est coloré en violet ; de *fausse topaze*, lorsqu'il l'est en jaune ; de *rubis de Bohême*, lorsqu'il devient rose.

Cependant un certain nombre des silicates qui entrent dans la composition des roches contiennent des proportions assez constantes d'oxydes métalliques colorants pour offrir assez constamment aussi la même couleur. Tels sont l'épidote et l'idocrase, d'un vert-bouteille ; l'augite et la hornblande, qui, vues en lames minces, sont généralement vertes et quelquefois brunes ; les tourmalines noires et opaques, qui deviennent aussi brunes lorsqu'on les regarde au travers de lames très minces. L'axinite renferme toujours de l'oxyde de manganèse qui en colore la masse en violet. L'almandin, rouge en masse, tourne à l'orangé, quand il est très aminci.

Quelquefois les matières colorantes sont fugaces et se détruisent ou se modifient à une haute température : quartz jaunes devenant d'un brun rougeâtre (topazes d'Espagne), — diamants, — apatites bleues se décolorant.

Elles peuvent aussi s'altérer à la lumière : réalgar, — quartz roses.

Les rubis oriental et le rubis spinelle, colorés en beau rouge par un oxyde de chrome, deviennent verts à une température élevée ; le grenat pyrope devient noir ; tous reprennent à froid leur couleur rouge.

Dessins, couleurs rubanées, zonaires. — Les couleurs accidentelles ne sont pas toujours uniformes, comme les couleurs propres. On emploie plusieurs épithètes pour désigner les dispositions que forment ces couleurs. On dit que les dessins sont *rubanés*, *zonaires*, *tachetés*, *pointillés*, *veinés*, *nuagés*, *dendritiques*, *flambés*, *ruiniformes*, etc.

Plusieurs de ces dispositions s'expliquent, comme celles des marbrures du savon, par le plus ou moins de viscosité et de liquidité des matières au moment qui a précédé leur consolidation. Il en est qui proviennent de matières colorantes.

D'autres sont dues à des liquides ou des vapeurs qui ont pénétré dans des fissures de la pierre en y produisant des décompositions plus ou moins profondes, comme dans les marnes dites *marbres ruiniformes* de Florence qui se trouvent au voisinage de fumerolles volcaniques.

Irisations superficielles. — Certains échantillons de limonite, d'oligiste, de dolomie, de grès quartzeux, de chalkopyrite, certaines stalactites offrent des irisations superficielles souvent produites par une altération légère de la surface, pyrites de cuivre, oligiste, ou par une pellicule extrêmement mince de matière étrangère, que le lavage fait disparaître.

Irisations intérieures. — Les couleurs irisées qui se manifestent dans l'intérieur des corps transparents ou translucides sont occasionnées tantôt par des lames d'air excessivement minces emprisonnées dans des fissures plus ou moins étendues, comme dans l'opale, dont les petites fentes donnent lieu à un phénomène de réseaux, comme dans le quartz fêlé; tantôt par des causes peu connues, comme dans le labrador; souvent par des mélanges de lamelles de

métaux ou d'oxydes métalliques, ou de silicates, tels que le mica, etc.

Éclat. — Une autre des propriétés qui se rattachent à l'action de la lumière et qui fournissent des caractères souvent utiles pour la distinction des minéraux : c'est l'éclat.

Lorsque la lumière se réfléchit à la surface d'un corps, il se produit deux effets : l'un qui porte à l'œil l'image du corps, c'est la réflexion propre ; l'autre qui produit sur la rétine une impression particulière et indépendante de la couleur, qui détermine cette sensation appelée l'éclat caractéristique des corps.

Éclat métallique. On peut en citer comme types l'argent, l'acier polis.

Éclat vitreux : le verre.

Éclat résineux : résinite.

Éclat gras : talc, pierre de lard (souvent à cassure esquilleuse).

Éclat nacré : calcaires (paraît résulter d'une structure schisteuse et d'une certaine opalescence).

Éclat soyeux : calcaire soyeux.

Éclat adamantin : diamant, sels de plomb, zircon.

Éclat terne : argile, substances mates ou sans éclat.

Pour indiquer le plus ou le moins de vivacité de l'éclat, on a adopté les expressions de demi-métallique, métalloïde, demi-vitreux, etc.

L'éclat peut servir à distinguer un certain nombre assez abondant de substances. Néanmoins, quelques matières, suivant leurs variétés, peuvent offrir des éclats différents, comme des cassures différentes ; le carbonate de chaux se montre à l'état de spath d'Islande vitreux, de marbre, de calcaire nacré, de calcaire soyeux, de craie ; le quartz, à l'état de quartz, de jaspe, de grès. Mais on ne rencontre jamais dans une même espèce l'éclat vitreux et l'éclat métallique.

Phosphorescence. — Certains corps, par exemple la dolomie, le sucre, émettent, lorsqu'on les frotte ou qu'on les casse avec un marteau, des lueurs de couleurs variées ; c'est ce qu'on appelle la *phosphorescence*.

On observe aussi de la phosphorescence dans quelques matières portées à une température plus ou moins élevée, par exemple dans la fluorine qu'il suffit de chauffer dans un tube de verre. En général, on observe que les corps deviennent plus phosphorescents, lorsque leurs faces brillantes sont dépolies.

La phosphorescence peut aussi s'observer dans un très grand nombre de corps transparents, lorsqu'on les éclaire quelque temps avec une vive lumière. M. Edmond Becquerel a imaginé le *phosphoroscope*, instrument qui permet de constater que les corps sont presque tous phosphorescents et de mesurer le temps pendant lequel ils émettent des lueurs après avoir été frappés par la lumière solaire. Un système de deux disques, percés chacun de quatre ouvertures alternes l'une avec l'autre, est mû autour d'un axe de rotation horizontal. Un tube amène les rayons solaires au premier disque, et celui-ci ne les laisse passer que s'ils rencontrent une de ses fentes.

Les rayons viennent alors traverser un cristal interposé entre les disques ; mais s'ils ont traversé le premier de ces disques, ils sont arrêtés par le second, puisque celui-ci oppose à la fente du premier une partie pleine. Si donc l'œil placé derrière le second disque voit le cristal, c'est que ce dernier est resté éclairé au moins pendant le temps qu'il a fallu au second disque pour amener en face de l'œil la fente voisine de la partie pleine qui empêchait de voir le cristal. Si le disque tourne assez vite les impressions sur la rétine durant un certain temps, l'œil confondra en une seule les lumières émises par les fentes successives.

Phosphorescence dans le vide. — Lorsqu'on place du diamant, du rubis, du triphane, dans des tubes analogues à ceux de Geisler où l'on peut faire le vide, comme l'a obtenu M. Crookes, à 1/1.000.000^e d'atmosphère, on voit ces matières s'illuminer au passage de l'électricité d'une lueur extraordinairement vive.

DEUXIÈME PARTIE

CARACTÈRES GÉOMÉTRIQUES DES MINÉRAUX

CRISTALLOGRAPHIE

CHAPITRE PREMIER

STRUCTURE CRISTALLINE

Les éléments des roches ne sont pas toujours cristallisés; de plus, lorsqu'ils le sont, ils se montrent peu souvent assez distincts les uns des autres, pour qu'on puisse déterminer leurs formes par l'étude seule de leurs contours. Ceux qui se sont constitués les premiers sont ordinairement les plus nets; mais fréquemment ils sont cassés. Dans les fentes des roches granitoïdes, cependant, on rencontre quelquefois de magnifiques échantillons cristallisés de leurs éléments ou même de matières qui leur sont tout à fait étrangères. Dans la masse des porphyres, il arrive aussi qu'une partie de la pâte s'est séparée çà et là en cristaux d'extraction en général difficile, mais dont on peut facilement reconnaître la configuration à l'œil nu. Le plus souvent, on n'a que des sections de cristaux effectuées dans des formes qu'on ne connaît pas, suivant des directions également inconnues.

Or, déjà, dans une même espèce minérale, les formes peuvent varier à l'infini. Le calcaire en est un des exemples les plus frappants; mais un grand nombre d'espèces ont heureusement une forme dominante. C'est ainsi que les micas offrent à peu près constamment des prismes hexagonaux; le quartz, un prisme à six faces, terminé par des pyramides hexagonales; les pyroxènes ont surtout dans les roches des formes caractéristiques.

Sans entrer dans beaucoup de développements sur la cristallographie générale, nous croyons nécessaire d'indiquer les moyens d'expliquer ce qu'on entend par cristal, structure cristalline, et de faire comprendre les moyens de rapporter à leur type, toujours très simple, toutes les formes si complexes et si nombreuses qu'on peut rencontrer dans une même substance minérale.

Il nous sera nécessaire aussi d'expliquer la notation adoptée dans cet ouvrage.

On sait que les corps sont susceptibles d'une divisibilité dont nous ne pouvons atteindre la limite, que cette limite existe cependant; car nous ne pourrions pas admettre vraiment nulle la dernière parcelle du corps, si petite qu'elle fût. Cette parcelle d'un corps, considérée à cette limite, est appelée *atome*. Non seulement nous n'y atteignons pas par les yeux, mais la division mécanique ne la fournirait pas à elle seule. En divisant un corps composé, du carbonate de chaux, par exemple, à l'aide du choc ou d'instruments tranchants, nous obtiendrions toujours du carbonate de chaux; la dernière partie de carbonate de chaux qu'on se procurerait alors serait ce qu'on appelle une *molécule*, celle-ci étant composée d'atomes qu'on n'isolerait les uns des autres qu'au moyen de la chaleur, de l'électricité, etc.

Lorsque rien ne les gêne dans leurs mouvements, au moment où elles se groupent pour former un corps solide, les molécules s'orientent les unes par rapport aux autres. Parmi ces directions rectilignes de l'espace où elles peuvent se placer, choisissons trois lignes droites qui se coupent : OX, OY, OZ, que nous appellerons des *axes* (fig. 3).

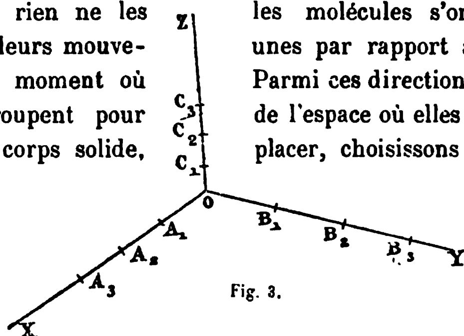


Fig. 3.

Structure cristalline. — Marquons sur ces droites les positions

A_1, A_2, A_3..., B_1, B_2, B_3..., C_1, C_2, C_3..., occupées par les molécules.

Pour que la masse possède la structure cristalline, il faut que les distances O_1A, A_1A_2, A_2A_3, ou OB_1, B_1B_2..., OC_1, C_1C_2... restent les mêmes sur chaque direction, quand même elles varieraient de l'une à l'autre, c'est-à-dire qu'on ait :

Sur la droite OX $OA_1 = A_1A_2 = A_2A_3$...
— OY $OB_1 = B_1B_2 = B_2B_3$...
— OZ $OC_1 = C_1C_2 = C_2C_3$...

OA_1, OB_1, OC_1 étant égaux ou non.

On appelle *paramètres* les distances OA_1, OB_1, OC_1, unités de longueur correspondantes à chaque direction.

Loi de rationalité. — Par trois points de division pris sur les trois axes, on peut faire passer un plan. On aura, par exemple, un plan $A_1C_2B_3$ déterminé par la molécule du n° 1 sur OX, par celle du n° 3 sur OY, enfin par celle du n° 2 sur OZ (fig. 4).

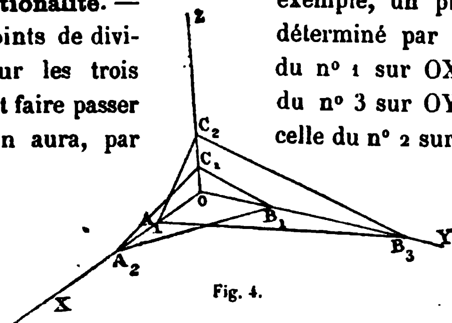


Fig. 4.

Les longueurs interceptées sur les axes sont appelées *segments*. On nomme *coefficients* les nombres 1, 2, 3, par lesquels il faut multiplier les paramètres OA_1, OC_1, OB_1 pour obtenir les segments.

Posons $OA_1 = a$ $OB_1 = b$ $OC_1 = c$.

On aura $OA_1 = a$ $OB_3 = 3b$ $OC_2 = 2c$.

Le plan $A_1B_3C_2$ est alors représenté par les segments a : 3b : 2c; le plan $A_2B_1C_1$ le serait par 2a : b : c.

D'une manière générale une face du cristal a pour expression :

$$ma : nb : pc.$$

Les plans ayant leur position déterminée par les rangs m, n, p,

des molécules, ces nombres m, n, p, sont nécessairement rationnels ou commensurables. L'observation montre qu'ils sont toujours très simples :

$1/2, 2;\ \frac{2}{3}, \frac{3}{2};\ \frac{1}{3}, 3;\ \frac{3}{4};\ \frac{4}{3};\ \frac{2}{5};\ \frac{5}{2};\ \frac{1}{4}, 4$ (1). Les plus simples $\frac{1}{2}$ et 2 sont de beaucoup les plus fréquents.

Toutes les fois que les molécules d'un corps s'orientent ainsi à des distances constantes sur chacune des différentes directions menées autour d'un point de leur masse, on dit que la structure de ce corps est *cristalline*.

L'ensemble des faces planes qui se limitent mutuellement sur le cristal en constitue la forme extérieure et dépend de la structure. Un cristal possède donc à la fois une forme et une structure cristallines.

Géométriquement, lorsqu'il est simple, un cristal est un polyèdre convexe, composé de *faces* qui se coupent suivant des droites appelées *arêtes*, et qui forment par leurs combinaisons 3 à 3, 4 à 4, etc., des *angles solides*. Les faces, arêtes, angles solides sont les *éléments* du cristal.

Similitude. — Géométriquement, deux polygones formant les faces d'un cristal sont *semblables*, lorsqu'ils ont le même nombre d'angles égaux semblablement disposés ; leurs côtés sont alors proportionnels.

Mais les cristaux offrent ordinairement beaucoup de déformations ; leurs éléments sont inégalement développés. Une face, qui théoriquement devrait être un hexagone régulier, a ses côtés inégaux ; les angles n'en sont pas moins de 120° ; c'est là ce qui reste constant et qui permet au cristallographe de rendre par la pensée à l'hexagone sa forme régulière et de regarder d'une manière gé-

(1) On a des fractions lorsqu'on prend pour paramètres a, b, c, des quantités assez grandes ; mais on peut les diviser toutes par un même nombre convenablement choisi ; elles conservent le même rapport entre elles.

nérale comme semblables des faces qui ont le même nombre d'angles égaux semblablement disposés. Des *arêtes* sont *semblables*, lorsqu'elles sont les intersections d'angles dièdres égaux et que, dans la forme théorique corrigée de ses déformations, elles ont la même longueur. Les angles solides appelés *symétriques* par les géomètres sont des *angles semblables* en cristallographie.

Plans de symétrie. — La plupart des formes cristallines peuvent être décomposées en parties semblables par un ou plusieurs plans, qu'on nomme *plans de symétrie.*

Centre de symétrie. — Un point d'un cristal est un *centre de symétrie*, lorsque tous les éléments semblables du cristal se trouvent disposés sur des droites dont ce point occupe le milieu.

Lignes et axes de symétrie. — Une ligne droite est dite de symétrie, lorsqu'en tournant la figure d'une partie aliquote de la circonférence les éléments du cristal viennent s'appliquer sur des éléments semblables.

Nous appellerons *axes de symétrie* les lignes de symétrie passant par le centre du cristal. La symétrie en est dite binaire, ternaire, quaternaire, sénaire, suivant qu'il faut tourner le cristal de la moitié, du tiers, du quart, du sixième d'une circonférence pour que ses éléments viennent s'appliquer sur des éléments semblables après cette rotation. On appelle par abbréviations *axes binaires*, *ternaires*, *quaternaires*, *sénaires*, ceux qui sont ainsi entourés de 2, 3, 4, 6 éléments semblables disposés symétriquement.

Connexions des différentes formes dans la même espèce; Lois de symétrie. — Généralement, comme nous l'avons dit, un corps non organisé, de composition chimique définie, revêt des formes cristallines très variées, très différentes, au premier aspect; mais toutes présenteront les mêmes plans et les mêmes axes de symétrie. Prenons pour exemple le cube (fig. 5). Le plan OQPR, mené par les milieux O, P, Q, R, de ses arêtes AB,

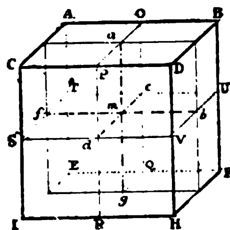


Fig. 5.

CD, EF, HI, le divise en deux moitiés égales. Le second plan vertical *afgb*, mené par les milieux des arêtes basiques latérales, est aussi un plan de symétrie qui divise le solide en deux moitiés égales, semblablement placées, l'une en avant, l'autre en arrière. Enfin, le plan horizontal, mené par les milieux S, T, U, V, des arêtes verticales, divise encore le cube en deux moitiés égales, symétriques, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de ce plan.

Il y a donc dans cette forme trois plans de symétrie, perpendiculaires entre eux et de même symétrie; car rien ne distingue les uns des autres les demi-cubes qu'ils déterminent dans le solide primitif. Ces trois plans se coupent suivant trois droites *ag*, *bf*, *ed*, qui se rencontrent au centre *m*, et qui sont parallèles aux arêtes du cristal (fig. 6). Ces trois droites sont des axes de symétrie quaternaire. Les trois axes sont égaux et rectangulaires entre eux.

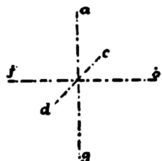


Fig. 6.

Comparons l'octaèdre régulier au cube (fig. 7). Soient trois axes *ag*, *bf*, *ed*, égaux et rectangulaires entre eux, se coupant en *m* ; menons des plans par leurs extrémités, prises trois à trois; huit plans ainsi déterminés, *afd*, *gbe*, *abd*, etc., forment en se coupant un solide à huit faces triangulaires, qui est l'*octaèdre régulier*.

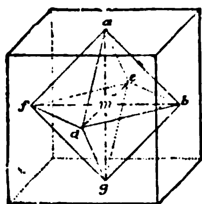


Fig. 7.

Il est facile de retrouver dans l'octaèdre, si on l'inscrit dans le cube, les trois plans de symétrie et les trois axes quaternaires qui caractérisaient cette dernière forme. La figure montre, en outre, qu'on fait du cube un octaèdre régulier, en remplaçant ses huit cubes élémentaires, tels que P, O, B, U, V, *d*, D (fig. 5), par une pyramide triangulaire *madb* (fig. 8).

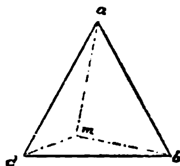


Fig. 8.

Loi de symétrie. — D'une manière générale, on peut d'une forme en tirer une autre en remplaçant dans la première tous les

éléments semblables par d'autres également semblables, à condition qu'on retrouve dans la seconde les mêmes plans et les mêmes axes de symétrie que dans la première. Les faces des différentes formes d'un cristal d'une même espèce minérale sont en même temps soumises, comme nous l'avons dit plus haut, à la loi de rationalité.

Le premier problème cristallographique, celui de la détermination du type auquel on doit rapporter une forme, consiste, par conséquent, à chercher dans celle-ci ses plans et ses axes de symétrie. De nombreuses déformations empêchent fréquemment de reconnaître ces plans et ces lignes du premier coup.

Déformations. — L'octaèdre régulier, par exemple, a pour caractère géométrique : l'égalité de ses faces qui sont des triangles équilatéraux et l'égalité des angles dièdres qui sont tous de 109° 28′ 30″. Beaucoup de cristaux ont cette forme ; la magnétite ou fer oxydulé, par exemple. On trouvera tel de ces octaèdres où deux faces ont pris un accroissement exagéré (fig. 9). Mais ce qui reste caractéristique dans la forme, c'est la *constance des angles*. Tous les angles dièdres y valent toujours rigoureusement 109° 28′ 30″. Non seulement l'étendue des faces d'un polyèdre et les longueurs relatives de ses arêtes sont des caractères sans valeur dans un cristal, mais sa configuration générale et le nombre de ses faces sont des indices qui ne peuvent servir que pour un premier aperçu.

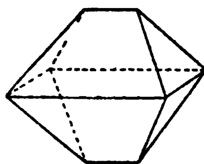


Fig. 9.

Les véritables caractères d'un cristal sont : 1° le nombre de dièdres égaux disposés autour des *axes*, ou bien à droite et à gauche des *plans de symétrie* ; 2° le nombre ainsi que la répartition de ces axes et de ces plans de symétrie égale ou différente dans le cristal. On voit donc l'importance de la mesure des angles.

CHAPITRE II

MESURE DES ANGLES

La mesure des angles plans ne comporte pas une assez grande précision pour être appliquée, en cristallographie, à la détermination des systèmes. Elle peut, il est vrai, servir à distinguer, dans les sections minces vues au microscope, leurs divers éléments ; nous en renvoyons, par conséquent, les dispositions aux propriétés optiques.

La mesure des angles dièdres peut être au contraire effectuée avec toute l'exactitude désirable au moyen des goniomètres.

Goniomètre d'application. — Le moyen le plus simple de mesurer un angle, c'est d'appliquer en un point quelconque de l'arête, sur les deux faces du cristal, deux règles d'acier mobile, autour d'un axe perpendiculaire à leur plan. Il faut maintenir les deux règles, appelées *alidades*, bien perpendiculaires à l'arête. L'axe de rotation autour duquel tournent les alidades est un bouton saillant (fig. 10). Le bouton se place dans un trou percé au

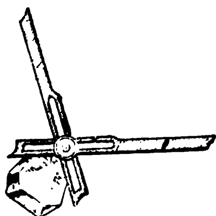


Fig. 10.

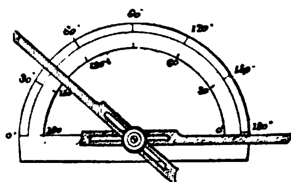


Fig. 11.

centre d'un cercle divisé, sur lequel on lit l'angle formé par les deux alidades, l'une d'elles passant par le zéro (fig. 11). Cet instrument est appelé *goniomètre d'application*.

Pour avoir la valeur d'un angle dièdre la plus exacte possible, il est nécessaire de recourir aux *goniomètres* dits *à réflexion*.

Goniomètre à réflexion. *Son principe.* — La pièce essentielle

de cet instrument, comme de tous les goniomètres, est le cercle qui sert à mesurer les angles dièdres; mais une application heureuse des lois de la réflexion de la lumière permet une approximation qui n'est limitée que par les défauts des faces cristallines elles-mêmes.

Le cercle est divisé en degrés et demi-degrés; il peut tourner sur lui-même, et il est flanqué latéralement d'un vernier en forme d'arc de cercle immobile, portant à droite et à gauche d'un point fixe marqué O trente divisions qui équivalent ensemble, de chaque côté, à vingt-neuf des plus petites divisions du cercle, ce qui permet d'évaluer des soixantièmes de degrés ou minutes. Mais, pour que cette précision ne devienne pas illusoire, il est de toute nécessité que le cercle soit rigoureusement parallèle à l'angle plan mensurateur du dièdre dont on cherche la valeur.

Supposons qu'il en soit ainsi, que le cercle divisé soit perpendiculaire à l'arête de l'angle dièdre et coupe les faces du cristal suffisamment prolongées suivant les droites AB, BC, qui forment l'angle plan mensurateur de l'angle dièdre.

Regardons sur la surface plane AB (fig. 12), assez brillante pour jouer le rôle de miroir, l'image d'une ligne droite éloignée, telle que l'arête d'un toit, et dirigeons le cercle perpendiculairement à cette ligne, que nous appellerons *la mire*; celle-ci et son image seront toutes deux parallèles à la face AB et perceront le plan du papier, la première en M et la seconde en M'. Or, un miroir mobile autour d'un axe perpendiculaire au plan du cercle est fixé au pied de l'instrument et donne de la mire une image parallèle à celle de la face AB. En tournant le cristal autour de son arête, on amène ces deux images à se superposer. On lit alors la division indiquée par le vernier. Cela fait, on tourne ensemble le cercle et le cristal autour de l'axe de l'un et de l'arête de l'autre, qui sont supposés se confondre en une seule ligne droite, jusqu'à ce qu'on

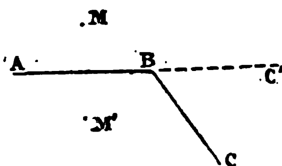


Fig. 12.

obtienne la superposition de l'image de la mire vue dans le miroir resté fixe, et de l'image de la même mire vue dans la face BC amenée sur le prolongement Bc' de la première face AB. On lit la nouvelle division à laquelle le cercle s'est arrêté. La différence des nombres obtenus dans ces deux lectures fait connaître, non pas l'angle lui-même, mais son supplément, puisque, pour donner à la face BC la direction AB prolongée, il faut tourner le cristal de l'angle C'BC, supplément de ABC.

En résumé, le cercle doit être perpendiculaire à la mire; l'arête du cristal doit passer par le centre du cercle; elle doit enfin être perpendiculaire à son plan.

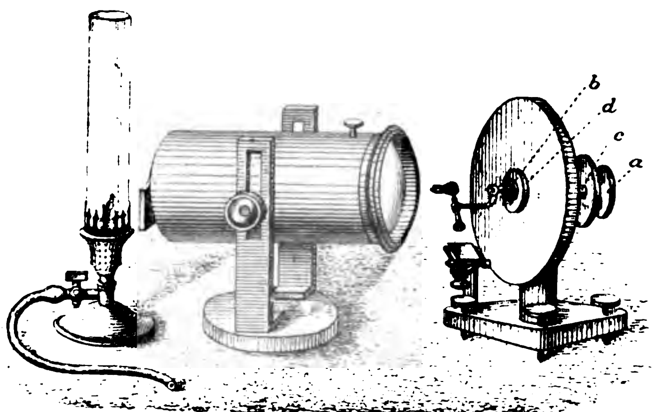


Fig. 13.

Description de l'instrument (fig. 13). — Il se compose d'un cercle divisé ou *limbe* muni de son vernier, fixé sur support qu'on peut dresser verticalement au moyen de trois vis calantes. Au support est fixé le miroir dont il a été question. Le limbe est traversé en son centre par une tige cylindrique *ab*, que nous appellerons *axe intérieur*, qu'on peut faire tourner sur elle-même, indépendamment du cercle qu'elle traverse, au moyen du bouton *a*. Cet axe entraîne dans sa rotation un système de deux pièces arti-

culées, qui peuvent tourner autour de *deux axes rectangulaires entre eux.*

L'une de ces pièces est un arc de cercle, l'*étrier*, mobile autour d'un axe parallèle au limbe et passant par l'extrémité *b* de l'axe *ab*; elle porte à son autre extrémité une sorte de gaîne perpendiculaire à sa direction en ce point, dans laquelle passe la seconde pièce. Celle-ci consiste en une simple tige, qu'on peut tourner sur elle-même ; c'est à son extrémité qu'on fixe le cristal.

Enfin, un tube *cd*, qui enveloppe l'axe intérieur, est adapté au limbe en *d* et permet de le faire tourner au moyen du bouton *c*, mais cette fois en emmenant avec le limbe et l'axe intérieur et le cristal. Nous l'appellerons axe *extérieur*.

Diverses opérations de la mesure. — On commence par fixer le cristal au bout de la tige, au moyen d'un peu de cire à modeler, en s'arrangeant de façon que l'arête de l'angle dièdre soit aussi exactement que possible perpendiculaire au limbe et passe, autant que faire se peut, par son centre. Puis on dirige le limbe ou cercle divisé perpendiculairement à la ligne choisie pour mire ; l'œil est suffisamment bon juge quand cette ligne est éloignée d'au moins six mètres. Mais il faut rendre les deux faces du dièdre à mesurer exactement perpendiculaires au limbe ; on y arrive de la manière suivante : on amène la première face AB (fig. 12) dans la position où l'œil peut voir superposées les deux images, que la face AB et le miroir donnent de la mire, comme nous l'avons vu plus haut ; on exécute ce mouvement au moyen de l'axe intérieur qui laisse le limbe immobile. Généralement, les deux images superposées ne sont pas parallèles ; on obtient ce parallélisme en changeant la direction de la face AB au moyen d'une des deux pièces articulées qui portent le cristal, de l'étrier par exemple. On amène alors la seconde face BC dans la même position ; comme, en général, elle n'a pas non plus la direction où l'image qu'on y observe de la mire est parallèle à celle qu'on voit dans le miroir, on lui imprime la direction convenable au moyen de la seconde des deux pièces articulées. Le plus souvent, quand la seconde face est devenue perpendiculaire

au limbe, la première ne l'est plus ; mais on l'oriente de nouveau ; puis, comme on a ainsi un peu dérangé la seconde, on retourne à celle-ci; après quelques tâtonnements, pour lesquels il faut toujours laisser à chacune des faces la pièce, étrier ou tige, qu'on a choisie pour elle au début, on parvient à rendre les deux faces perpendiculaires à la fois au cercle divisé.

Quant au centrage, il est suffisant lorsqu'on n'est pas obligé de déranger l'œil pour observer les coïncidences des images en passant d'une face à l'autre ; sinon, il faut centrer de nouveau.

Cela obtenu, on procède à la mesure. On met la première face dans la situation qui permet de voir, en parfaite coïncidence, l'image qu'elle donne de la mire et celle qu'en donne le miroir ; toutes ces opérations ont été jusqu'ici effectuées au moyen de l'axe intérieur. Dès lors, il ne faut plus que l'œil change de place. Avec la main on saisit le bouton *c* de l'axe extérieur ; on amène la face BC sur le prolongement de la position qu'occupait la première en BC′, et, quand on aperçoit de nouveau la coïncidence des images vues dans le miroir et dans la face arrivée en BC′, on fait la seconde lecture, comme nous l'avons dit en commençant.

Pour toutes ces observations des coïncidences d'images, il faut que l'œil ne se déplace pas entre la première et la seconde lecture définitives, et, conséquemment, que le cristal soit très petit. Si les faces du cristal sont un peu gauches, on masque avec de la cire à modeler toutes les portions qui ne sont pas planes et celles qui sont un peu éloignées de l'arête. Souvent on est obligé d'opérer dans un laboratoire d'où l'on verrait difficilement des mires extérieures ; on place dans ce cas une simple bougie à cinq ou six mètres de distance ; on dirige le limbe parallèlement à la flamme, et l'on fait coïncider les images des pointes de cette flamme.

Disposition de Mallard. — Comme l'erreur la plus difficile à corriger provient de celle du centrage, dans le cas d'une mire peu éloignée, Mallard a cherché et trouvé le moyen de ne recevoir sur le cristal que des rayons lumineux parallèles, malgré le peu de distance de la mire. Il suffit, en effet, de faire traverser aux rayons

provenant d'une source lumineuse quelconque, lampe, bec de gaz, etc., un grand collimateur, formé d'un tube large et noirci à l'intérieur dont une extrémité placée près de la lumière est fermée par un opercule percé de fentes de diverses configurations et dont l'autre extrémité enveloppe un large objectif, disposé de façon à ce que la fente éclairée soit à son foyer principal. Les rayons lumineux, au sortir de l'objectif, sont parallèles, comme s'ils venaient de l'infini, et ils enveloppent à la fois le cristal et le miroir, qui n'est distant du miroir que les 2 ou 3 centimètres. La figure 13 montre le goniomètre muni d'un collimateur. Afin que la lumière réfléchie par le cristal souvent terne ne se trouve pas noyée dans celle beaucoup plus vive que renvoie le miroir, on peut placer devant celui-ci un ou plusieurs verres de couleur qui affaiblissent son éclairement.

CHAPITRE III

LES SYSTÈMES CRISTALLINS

Qu'on admette la théorie d'Haüy et qu'on se représente les cristaux comme composés de molécules juxtaposées, disposées côte à côte sur des plans et formant des couches qui décroissent en largeur, suivant des lois définies, à mesure qu'on s'éloigne du centre de la masse; qu'on regarde, avec Bravais, les cristaux comme formés de molécules qui occupent les sommets de petits parallélogrammes élémentaires également parallèles, ou *mailles* de réseaux parallèles eux-mêmes, dont l'ensemble constitue l'*assemblage cristallin*; qu'on adopte les théories plus récentes de MM. Schœncke, de Schefflis, de M. Fedoroff et de M. Curie, et qu'on imagine les cristaux comme des associations d'assemblages élémentaires, dont la symétrie peut différer de celle de la masse globale, on arrive toujours à cette conclusion que, pour être rempli sans

vide, l'espace occupé par la matière cristalline doit présenter des couches à sections de parallélogrammes, y compris les losanges et les carrés, ou d'hexagones réguliers, y compris les triangles équilatéraux, les seuls polygones avec lesquels on puisse paver une surface. Si les éléments de ces plans ou de ces couches se répètent par 2, 3, 4 ou 6 autour de lignes normales à leur surface, celles-ci sont des axes de symétrie binaire, ternaire ou quaternaire. On démontre que, si un polyèdre possède deux des trois éléments de symétrie, centre, axe binaire ou plan, il possède le troisième; que, s'il possède plus d'un axe de symétrie binaire, il en possède trois.

De là il résulte que les cristaux peuvent être rapportés à six types différents, dont on peut dériver toutes leurs formes au moyen des lois dites *de symétrie*. L'ensemble d'un type et des formes qu'on peut en déduire constitue un *système cristallin*.

Comme types des formes des différents systèmes, on adopte, en France, des parallélipipèdes, solides composés de quatre faces à forme de parallélogrammes, parallèles deux à deux, et comprises entre deux autres faces qui sont aussi des parallélogrammes. Les quatre premières, appelées *pans* ou *faces latérales*, se coupent suivant des lignes parallèles; les deux autres faces sont des *bases*.

Étant donné un prisme (fig. 33), on peut mener trois droites allant chacune du milieu d'une face au milieu de la face opposée (fig. 13). Ces trois droites sont appelées des axes, en cristallographie; elles passent par le centre du cristal. Leurs longueurs et leurs inclinaisons relatives restent les mêmes dans les cristaux d'une espèce minérale, tout en variant d'une espèce à l'autre; elles peuvent donc être utilisées comme caractéristiques des espèces.

1er **Système. Cubique.** — Type : le *cube*, dont les faces sont toutes égales et perpendiculaires l'une sur l'autre.

Axes : trois axes rectangulaires et égaux, ou quatre axes de symétrie ternaire, joignant les sommets des angles solides opposés.

2e **Système. Quadratique.** — Type : le *prisme droit à face*

carrée. Quatre faces latérales, qui sont des rectangles ; les deux bases perpendiculaires sur les pans sont des carrés.

Axes : trois axes rectangulaires, dont deux, parallèles aux côtés de la base, sont égaux, et dont le troisième, parallèle aux pans, est différent des deux autres.

3° **Système. Orthorhombique.** — Type : le *prisme droit à base rhombe.* Quatre faces latérales, qui sont des rectangles : les deux bases perpendiculaires sur les pans ont la forme de *rhombes* ou *losanges.*

Axes : trois axes rectangulaires inégaux et parallèles, l'un aux arêtes du prisme, les deux autres aux diagonales de ses bases.

4° **Système. Rhomboédrique.** — Type : *rhomboèdre,* dont toutes les faces sont des rhombes égaux, mais obliques l'une sur l'autre.

Axes : trois axes égaux, obliques, mais également inclinés l'un sur l'autre.

5° **Système. Clinorhombique.** — Type : prisme ayant quatre faces latérales à forme de parallélogrammes ; les deux bases sont des rhombes ; elles sont inclinées sur les pans, mais dans une seule direction, d'arrière en avant, par exemple ; elles sont également inclinées dans la direction perpendiculaire ou latérales.

Axes : trois axes parallèles aux arêtes du prisme et aux diagonales de ses bases ; l'un d'eux seulement est perpendiculaire au plan des deux autres.

6° **Système.** — Type : un *prisme bioblique.* Quatre faces latérales à forme de parallélogrammes : les deux bases sont ordinairement des parallélogrammes ; elles peuvent être rhombiques ; mais elles sont toujours inclinées à la fois d'arrière en avant et de droite à gauche.

Axes : trois axes en général inégaux (deux peuvent quelquefois avoir la même longueur), toujours inégalement inclinés les uns sur les autres.

Étude analytique des six systèmes. — Il vaut beaucoup mieux désigner chaque système par sa dénomination que par son

numéro d'ordre, car celui-ci dépend du point de vue d'où on envisage les systèmes; rien n'empêche de commencer par ce dernier; c'est ce que nous ferons même dans cet ouvrage pour exposer plus rapidement les formes principales et leurs notations.

CHAPITRE IV

SYSTÈME DU PRISME BIOBLIQUE

Synonymes : *Système triclinique* ou *asymétrique*.

Prenons un parallélipipède quelconque (fig. 14).

Plaçons verticalement quatre de ses bases formant prisme. Supposons que les deux autres soient inclinées, d'abord, d'arrière en avant et, en outre, dans une seconde direction, de gauche à droite, par exemple. On peut choisir pour bases deux faces quelconques, et pour pans les quatre restantes; les bases gardent toujours le caractère d'une double obliquité sur les pans, qui nous fait donner à cette forme le nom de *prisme bioblique*.

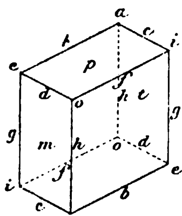


Fig. 14.

Notation. — De cette double obliquité il résulte que les angles dièdres formés par une des bases avec les pans sont différents les uns des autres; les quatre arêtes de chaque base diffèrent toujours par la valeur des angles dièdres, auxquels elles correspondent; on les note au moyen des premières consonnes écrites dans l'ordre alphabétique et comme dans l'écriture ordinaire, la première *b* à gauche, la seconde *c* à droite, ce qui donne en quelque sorte une première ligne, et, à la seconde ligne, en dessous, *d* à gauche, *f* à

droite. Les arêtes de la base inférieure sont opposées et égales deux à deux à celles de la base supérieure. Les quatre arêtes verticales de même longueur correspondent à deux sortes de dièdres; on les note *g* à gauche et à droite, *h* en avant et en arrière. Les angles solides du prisme sont dissemblables; ils sont notés au moyen des voyelles *a*, *e*, *i*, *o*, écrites d'après la même convention que les consonnes. Deux de ces angles opposés sont identiques. Deux faces opposées le sont aussi; mais les trois faces d'un même angle solide sont dissemblables. On les représente par les premières lettres des trois syllabes du mot *primitif*, *p* pour les bases, *m* pour le pan de gauche, *t* pour celui de droite en avant.

Le prisme et ses zones. — Soit un plan LMPQ parallèle à l'arête *h* antérieure. Pour s'assurer de ce parallélisme, on dispose le cristal comme il convient pour la mesure de l'angle dièdre des faces *m*, *t*; puis on le fait tourner autour de l'axe du goniomètre parallèle à l'arête *h*, comme si on voulait mesurer l'angle des faces *m* et *t*; on doit constater la coïncidence rigoureuse des images de la mire donnée par cette dernière face et par le miroir annexé au goniomètre (fig. 15). On dit que des faces forment une *zone*, lorsque leurs intersections sont parallèles; l'*axe de la zone* est l'intersection commune de toutes ses faces, lorsqu'on les transporte parallèlement à elles-mêmes jusqu'à ce qu'elles passent par le centre du cristal. La face LMPQ appartient à la zone des faces *m*, *t*, et l'axe de cette zone est parallèle à l'arête verticale.

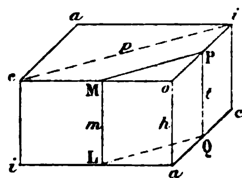


Fig. 15.

Détermination du prisme. — Nous avons défini le prisme bioblique en général; les substances très nombreuses qui cristallisent sous une forme de ce genre se sépareront de toutes les autres; mais il faut maintenant les distinguer entre elles, en distinguant les uns des autres, s'il est possible, et leurs prismes et les formes qui s'y rattachent. Or, ces prismes diffèrent en réalité dans les

différentes espèces minérales ; ceux de l'axinite, par exemple, ont des arêtes tranchantes, presque dangereuses à manier, qu'on ne retrouve pas dans ceux de l'anorthite. On mesurera donc les angles dièdres que forment leurs faces. On représente pour abréger par *pm*, *mt*, *pt*, les angles des faces *p* et *m*, *m* et *t*, *p* et *t*. Au moyen de ces angles dièdres on calcule les angles plans *eoi*, *eoa*, *ioa*, que les arêtes d'un même angle solide *o* font entre elles (1).

On pourrait mesurer directement les angles plans ; mais le calcul au moyen des angles dièdres est plus exact que la mesure directe.

C'est tout ce que nous pouvons tirer d'un prisme. Quant aux longueurs de ses arêtes, elles n'ont rien d'absolu, puisqu'un cristal est susceptible de s'accroître indéfiniment ; elles ne sont pas même dans un rapport constant, puisque les faces peuvent s'accroître accidentellement les unes sans les autres. Mais presque toujours les prismes sont chargés de facettes plus ou moins nombreuses.

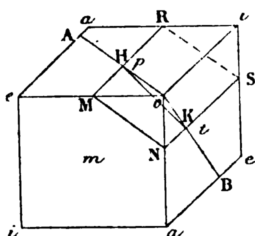


Fig. 16.

Soit une facette MNRS parallèle à l'arête *f*, dans la zone des faces *p* et *t*. Nous avons vu, page 33, comment on constate qu'une face appartient a une zone déterminée par deux faces qui se coupent (fig. 16).

Cherchons les segments OM, ON, interceptés sur les arêtes $oe = d$ $oa = h$, par cette face. Pour cela, par le point *o* nous mène-

(1) Soit $aoi = a$ $eoi = b$ $eoa = c$ $pm = A$ $mt = B$ $pt = C$.
La trigonométrie sphérique donne les relations :

$$\operatorname{tg}\frac{a}{2} = \pm\sqrt{\frac{\sin S \sin (A-S)}{\sin (B-S) \sin (C-S)}}$$

$$\operatorname{tg}\frac{b}{2} = \pm\sqrt{\frac{\sin S \sin (B-S)}{\sin (A-S) \sin (C-S)}}$$

$$\operatorname{tg}\frac{c}{2} = \pm\sqrt{\frac{\sin S \sin (C-S)}{\sin (A-S) \sin (B-S)}}$$

en posant : $A + B + C - 180^\circ = 2S$.

rons un plan oHK perpendiculaire à l'arête oi et, par suite, aux lignes parallèles MR, NS. Ce plan coupe la face p (eaMR) suivant HA perpendiculaire à MR, la face MNRS suivant HK perpendiculaire également à MR; donc, AHK est l'angle plan qui mesure l'inclinaison de MNRS sur p ou eaMR. Le plan HOK coupant oiNS, face t, et MNRS suivant Ko et KH toutes deux perpendiculaires à NS, l'angle BKH est de même l'angle mensurateur du dièdre formé par les faces MNRS et aeNS ou t. Enfin, oH et oK, toutes deux perpendiculaires à oi, l'une sur la face p, l'autre sur la face t, forment ensemble l'angle HOK qui mesure l'inclinaison p sur t.

Cela posé, mesurons au goniomètre l'angle KHA, valeur du dièdre des faces p et MRNS. L'angle oHK en est le supplément; nous avons mesuré dejà, page 34, le dièdre des faces p et t qui a pour valeur HoK. Dans le triangle HoK on connaît donc deux angles; on peut calculer le rapport des deux côtés oH, oK.

$$\frac{oH}{oK} = \frac{\sin oKH}{\sin oHK}; \; oKH = 180 - (oHK + HoK)$$

Comme oH et oK sont perpendiculaires, l'une à MR, l'autre à NS, on a :

$$oM = \frac{oH}{\sin oMH} \qquad oN = \frac{oK}{\sin oNK}$$

D'ailleurs, $oMH = 180^\circ - eoi$ et $oNK = 180^\circ - aoi$. Mais on connaît les angles plans eoi, aoi, et l'on sait que les sinus de deux angles supplémentaires sont égaux et de même signe; on a donc définitivement :

$$\frac{oM}{oN} = \frac{\sin aoi}{\sin eoi}\frac{OH}{OK} = \frac{\sin aoi}{\sin eoi}\frac{\sin oKH}{\sin oHK}$$

Tel est le rapport $\frac{oM}{oN}$ des segments interceptés par la face MRNS sur les deux arêtes eo, ea.

Sur le même cristal ou sur un autre de la même espèce, cherchons une facette MPLQ parallèle à l'arête h dans la zone des faces m, t (voy. fig. 15).

Par un calcul analogue au précédent, nous obtiendrons le rapport $\frac{oP}{oM}$ des segments interceptés par cette face sur les arêtes *oe*, *oa*. Nous pouvons faire passer la face LMPQ par le point M, ou par tout autre point de l'arête *oe*, pourvu qu'elle reste parallèle à elle-même.

Nous connaîtrons donc en définitive le rapport des deux segments *o*M, *o*P, au troisième *o*N.

Forme primitive. — Menons dans l'espace trois lignes *eo*, *oi*, *oa*, qui fassent entre elles les angles *eoa*, *aoi*, *eoi*, calculés plus haut. Donnons à ces lignes des longueurs *oe*, *oi*, *oa*, proportionnelles à OM, OP, ON, que nous venons de calculer; achevons le prisme; nous aurons ce qu'on appelle une *forme primitive*. Il est évident que nous aurions pu prendre les faces MNRS, MPLQ comme pans d'un prisme, aussi bien que les faces *a*, *e*, *i*, *o*, ... que nous avons notées *p*, *m*, *t*. On prend en général pour faces du prisme primitif d'une espèce minérale celles qui s'y présentent le plus fréquemment, qui sont en quelque sorte les plus caractéristiques de cette espèce.

Formes dérivées. — Souvent sur un cristal ou sur différents cristaux d'une même substance on trouve un grand nombre de facettes. Soit, en outre des facettes qui ont servi à déterminer la forme primitive et que nous ne figurons pas, une facette HKL qui coupe à la fois les trois arêtes du prisme dont on a fixé les dimensions, comme il vient d'être dit (fig. 17. En introduisant comme données dans des calculs analogues aux précédents les dièdres que la face HKL forme avec les faces du prisme, on arrive à connaître les segments OH, OK, OL. On trouvera par exemple, dans le cas observé ici :

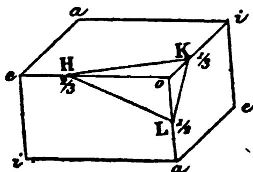


Fig. 17.

$$OH = \frac{2}{3} oe \qquad OK = \frac{1}{3} oi \qquad OL = \frac{1}{2} oa$$

et comme on a posé $oe = d$, $oi = f$, $oa = h$, on représentera la facette d'après la convention suivante :

On écrit en haut et à droite de chacune des arêtes, à la manière d'un exposant, le nombre qui est en réalité un facteur ou coefficient par lequel on doit multiplier la longueur de l'arête pour obtenir le segment correspondant. Le symbole de la face HKL est donc ici :

$$d^{\frac{2}{3}} f^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}}$$

D'une manière générale, une face du système a pour notation : $d^{\frac{1}{m}} f^{\frac{1}{n}} h^{\frac{1}{p}}$, lorsqu'elle rencontre, comme la précédente, immédiatement les trois arêtes d, f, h. Elle pourrait être placée de façon à rencontrer d'abord les arêtes b, c, h (h postérieur), ou b, d, g (g de gauche), ou c, f, g (g de droite). Les quantités $\frac{1}{m}$ $\frac{1}{n}$ $\frac{1}{p}$ sont des fractions, des nombres entiers ou fractionnaires ; elles sont toujours *rationnelles* et le plus fréquemment des plus simples.

La face HKL et son opposée parallèle constituent ensemble une *forme simple*. Dans le système bioblique les formes simples se réduisent ainsi à deux plans illimités ; ces formes, qui ne se ferment pas d'elles-mêmes, sont appelées *ouvertes*.

Les deux bases p, les deux pans m, les deux pans t sont aussi des formes simples ouvertes. Les faces, telles que HKL, qui ne font pas partie de la forme primitive, sont dites *dérivées*.

Faces sur les angles. — Soit sur le prisme primitif une face QRa ayant pour expression $d^{\frac{1}{m}} f^{\frac{1}{m}} h^{\frac{1}{p}}$ (fig. 18).

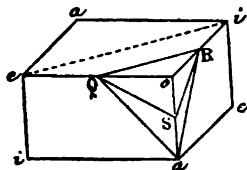


Fig. 18.

A cause de l'égalité des nombres $\frac{1}{m}$ qui multiplient les deux arêtes d, f, pour abréger son symbole, on est convenu de représenter la face par la même lettre que l'angle solide dont elle intéresse les arêtes et décrire en haut et à droite de cette lettre le quotient, qu'on obtient en divisant les deux quantités égales $\frac{1}{m}$ par la différente $\frac{1}{p}$. Ici on aurait $o^{\frac{1}{m} : \frac{1}{p}} = o^{\frac{p}{m}}$.

Supposons que la face QRS ait pour expression : $d^{\frac{1}{m}} f^{\frac{1}{m}} h^{\frac{1}{m}}$, le symbole abrégé, par une nouvelle convention, sera écrit $o\frac{1}{m} : \frac{1}{m} = o^1$.

On dit que les faces QRA, QRS, sont situées sur les angles o; leurs traces sur les faces sont parallèles aux diagonales qui joignent les extrémités des arêtes coupées par ces faces en parties proportionnelles; ei est, par exemple, parallèle à QR.

Faces parallèles aux arêtes. — Soit la face HKLM et son opposée parallèle H'K'L'M', toutes deux parallèles aux arêtes g (fig. 19). HKLM enlève $\frac{1}{m}$ sur l'arête ea ou b, $\frac{1}{p}$ sur l'arête eo ou d; elle est parallèle à l'arête ei ou g. Elle a pour expression générale $b^{\frac{1}{m}} d^{\frac{1}{p}} g^{\frac{1}{o}}$. On est convenu d'abréger cette expression en représentant la face par la même lettre que l'arête parallèle et en écrivant, en exposant à droite de cette lettre le quotient des quantités enlevées sur chacune des deux autres arêtes. Le symbole abrégé est donc $g\,\frac{1}{m} : \frac{1}{p} = g^{\frac{p}{m}}$.

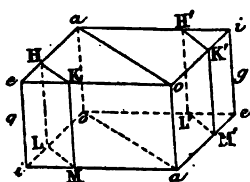


Fig. 19.

Dans notre figure la face HKLM est parallèle à la diagonale ao en même temps qu'à l'arête ei ou g. Les nombres $\frac{1}{m}, \frac{1}{p}$ sont égaux, puisque les segments eH, eK, sont proportionnels aux longueurs ea, eo; le symbole abrégé de la face est g^1.

On voit que, d'après cette convention, les symboles abrégés des faces MLPQ et MRNS, des figures 15 et 16, doivent être h^1 et f^1, puisque nous avons donné aux arêtes du prisme des dimensions proportionnelles aux segments OM, OP, ON interceptés par ces faces.

Remarque. — L'observation a toujours montré jusqu'ici l'exactitude de cette loi de rationalité à laquelle sont soumis les segments interceptés par les faces des différentes formes sur les trois

arêtes concourant au sommet de l'angle solide d'un prisme dont les angles et les arêtes sont déterminées, comme nous l'avons vu, au moyen des angles formés par cinq des faces qui se coupent.

Menons par le centre du cristal trois droites qui joignent deux à deux les milieux des faces opposées de ce prisme ; nous aurons les trois *axes*.

Ces axes sont parallèles aux arêtes, ils font entre eux les mêmes angles que celles-ci, et ils ont la même longueur ; seulement, au lieu de se couper au sommet d'un angle, ils se rencontrent au centre. Les segments interceptés par les faces sur les axes seraient donc proportionnels à ceux qu'elles interceptent sur les axes, et ils seraient assujettis comme eux à la loi de rationalité ; les longueurs des arêtes deviendraient ce que nous avons appelé les *paramètres* pour les axes. En résumé, toutes les assertions, que nous avons exposées pour définir la structure cristalline, se trouvent maintenant incontestablement démontrées.

Détermination pratique des formes de ce système. — Ces formes ne présentent que deux dièdres opposés égaux ; les dièdres adjacents ne le sont pas.

CHAPITRE V

SYSTÈME DU PRISME MONOCLINIQUE

Synonyme : *Système clinorhombique.*

Soit un parallélipipède ABCDEFGH, à section droite rectangulaire, c'est-à-dire dont les pans sont des rectangles perpendiculaires entre eux (fig. 20).

Plaçons devant nous le pan CDGH, parallèle au pan postérieur ABEF, et de chaque côté, l'un à droite, l'autre à gauche, les pans

BDHF, ACEG. Coupons le parallélipipède par un plan ABCD, que nous appellerons la base, oblique sur les pans antérieur et postérieur, faisant un angle aigu avec ABEF, obtus avec CDGH, c'est-à-dire incliné d'arrière en avant, mais également incliné sur les pans latéraux ACBG, BDHF, c'est-à-dire perpendiculaire à ces pans. Menons le plan EGHF parallèle à ABCD; c'est la seconde base.

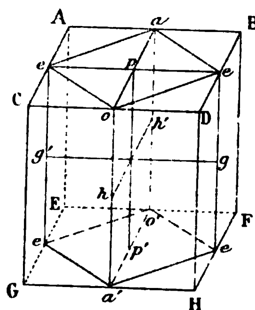


Fig. 20.

Menons par le centre *o* trois droites qui joignent les milieux des faces parallélipipédiques, *pp* joignant les deux bases; *gg*, les deux faces latérales; *hh'*, les faces antérieure et postérieure. Le plan *php'h'* est un plan de symétrie, qui divise le parallélipipède en deux moitiés identiques, et la droite *gg'*, un axe de symétrie binaire. En faisant tourner le parallélipipède de 180° autour de *gg'*, on ne change rien à la perspective de sa configuration.

On appelle *axes* les lignes qui joignent les milieux des faces; ce sont simplement ici des lignes de repère ; l'un d'entre eux, celui de symétrie binaire, *gg'*, est perpendiculaire au plan des deux autres *pp'*, *hh'*. Si on place verticalement les pans du parallélipipède l'axe *pp'* qui leur est parallèle est aussi vertical, et *gg'*, l'axe de symétrie binaire est horizontal.

Nous appellerons ce prisme monoclinique ou unioblique, parce qu'il est incliné seulement d'arrière en avant et qu'il est perpendiculaire sur les faces latérales. Dans le rectangle ABCD l'on peut inscrire un losange *aee'o* ; dans le parallélipipède ou prisme rectangulaire on peut inscrire un prisme de même hauteur à base de losange ou de rhombe.

Ce dernier a le même plan de symétrie *aoa'o'* (*php'h'*) et le même axe de symétrie binaire *gg'* que le prisme rectangulaire. Les deux prismes sont équivalents, au point de vue cristallographique.

La diagonale *ee*, parallèle à *gg'*, est dite *diagonale* horizontale ; la diagonale *ao* est dite *inclinée*. L'angle *aoa''* de cette diagonale et de l'arête *hh'* du prisme rhombique mesure l'inclinaison de la base sur cette arête ou sur le pan antérieur du prisme rectangulaire.

Notation du prisme inscrit rhombique. — C'est par les segments interceptés sur trois arêtes adjacentes de ce prisme et comptés à partir du sommet de l'angle où elles concourent que les cristallographes français déterminent la position des faces d'un cristal dans ce système ; aussi appellent-ils le système clinorhombique, prenant pour point de départ un prime à base rhombe, inclinée sur l'arête antérieure.

Dans la notation française on suit cette convention : les angles *a*, *o*, continuant à être différents, gardent la même notation que dans le système précédent ; mais les angles appelés dans ce dernier, l'un *e* à gauche, l'autre *i* à droite, devenant ici égaux puisqu'ils sont symétriques par rapport au plan *aoa'o'*, sont désignés par la même lettre *e*, la plus élevée des deux lettres *e*, *i*, dans l'ordre alphabétique. De même, les arêtes *c*, *f*, du prisme dissymétrique ou bioblique, devenant identiques aux arêtes *b*, *d*, par rapport au plan de symétrie, sont appelées *bae*, *aé*, *doe*, *oe*, à droite comme à gauche ; enfin les pans du prisme à droite et à gauche sont appelés *m*.

Dimensions du prisme. — Reportons-nous au système précédent. Nous avions mesuré les dièdres *pm*, *mt*, *pt* ; ici *pm* = *pt* et *mt* = *mm*, puisque *t* = *m*. Nous n'aurons donc besoin de mesurer que les angles de *p* avec *m* et celui des deux faces *m*. La trigonométrie permet de calculer au moyen de ces deux angles dièdres les angles plans *eoe* (de la base), *eoa* (d'une face latérale) en même temps que l'angle *aoa* qui mesure l'inclinaison de la base sur l'arête antérieure verticale *h*. Une seule face, telle que MNRS, suffit maintenant pour calculer les dimensions d'un prisme, qu'on prendra, si on veut, comme primitif, puisque, le prisme ayant ses arêtes basiques de même longueur, on n'a besoin de con-

naître que le rapport d'une de ces arêtes à celle de la hauteur.

En résumé, on construit le prisme en connaissant l'angle de ses faces *m*, l'inclinaison de sa base sur l'intercession *h* de ces faces, et le rapport des longueurs d'une arête de sa base et de sa hauteur *h*. On choisit pour faces du prisme dans chaque espèce celles qu'on y observe à peu près constamment, surtout celles qui sont parallèles à des clivages. Des faces *m* des cristaux d'amphibole sont, par exemple, parallèles aux clivages des cristaux de cette espèce. La base *p* de l'orthose est également parallèle à la direction plane du clivage facile de ses cristaux où dominent en même temps les deux faces adoptées pour pans de leur forme primitive.

Formes dérivées. — Nous ne parlerons que des plus essentielles.

Prisme hexagonal (fig. 21). — C'est la combinaison d'un prisme clinorhombique ayant, par exemple, ABCD pour base, CLEN, LDNF, ainsi que les faces opposées, pour pans, et de deux faces BDF et son opposée, parallèles aux arêtes latérales *g* de la figure 20 et à la diagonale inclinée, parallèles par conséquent au plan de symétrie KLN déterminé par cette diagonale et par l'arête LN ou *h* de la figure 20, puisque celle-ci est elle-même parallèle à l'arête *g*. La face BDFH, étant parallèle à KL, enlève sur les arêtes de la base des segments proportionnels à leurs longueurs totales ; elle a pour symbole :

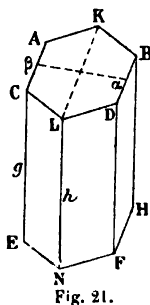


Fig. 21.

$$b^{\frac{1}{m}} d^{\frac{1}{m}} g^{\frac{1}{o}}, \text{ par abréviation } g^1.$$

On convient de représenter la facette par la même lettre que l'arête à laquelle elle est parallèle, en écrivant à la façon d'un exposant le rapport des segments interceptés par cette facette sur les deux autres arêtes.

Prisme oblique rectangulaire. — (Faces g^1 et h^1) (fig. 22). Un plan KK'MM', parallèle à l'arête *h* et à la diagonale horizontale *ee*, intercepte sur les arêtes *oe*, *eo'*, des segments OK, OK'

proportionnels à leurs longueurs. Il a pour symbole $d^{\frac{1}{m}}$, $d^{\frac{1}{m}}$, $h^{\frac{1}{0}}$, par abréviation h^1. Ce plan et son opposé parallèle, combinés aux deux plans g^1 (HKM, H'K'M'), forment un prisme rectangulaire oblique HH' KK' MM', car, les côtés de leurs bases étant parallèles aux deux diagonales *ao*, *ee'* rectangulaires, produisent ensemble un rectangle. Les lignes qui joignent deux à deux les milieux des faces de ce prisme constituent le second système d'axes dont nous avons parlé (trois axes inégaux, dont un perpendiculaire au plan des deux autres).

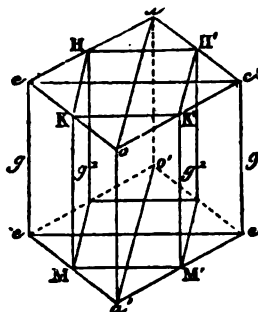


Fig. 22

Hémioctaèdres. — Un plan HKLM, parallèle à une arête *ae* de la base, intercepte des segments *a*H = 1/4 *ae* ou *b*, *a*K = 1/2 *ao* ou *h*; il a pour symbole : $b^{\frac{1}{4}}$, $h^{\frac{1}{2}}$, $b^{\frac{1}{0}}$, par abréviation $b^{\frac{1}{4}:\frac{1}{2}} = b^{1/2}$ (on prend comme diviseur le segment correspondant à la hauteur) (fig. 23).

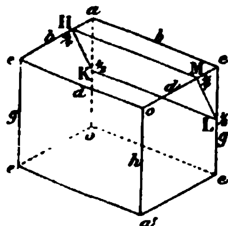


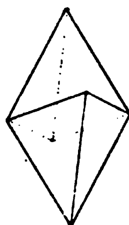
Fig. 23.

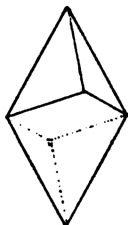
Il faut sur la seconde arête *ae* une face symétrique, et les arêtes antérieures de la base inférieure, étant semblables aux arêtes postérieures de la base supérieure, seront également remplacées par des faces parallèles chacune à l'une des précédentes ; on aura, en définitive, quatre faces parallèles deux à deux et parallèles à une arête *ae*. Les quatre arêtes *d* pourraient aussi être remplacées par des faces également parallèles 2 à 2 et constituant une zone dont l'axe est parallèle à une autre arête *ae*.

Les deux prismes, en se combinant, forment un solide à huit faces triangulaires, un *octaèdre*.

On peut donc les appeler *hémioctaèdres*.

Les trois figures (24, 25, 26) montrent l'octaèdre et les deux hémioctaèdres dont il est formé. Ceux-ci ont pour base commune


Fig. 24.


Fig. 25.

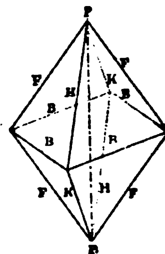


Fig. 26.

un rhombe dont les côtés sont parallèles aux arêtes basiques *b*, *d*, de la forme primitive. C'est pourquoi on appelle cet octaèdre *clinorhombique*. Les mêmes lettres majuscules indiquant sur la figure 26 les dièdres égaux, on voit que ceux-ci se répètent symétriquement des deux côtés du plan PHKP, qui est le plan de symétrie *aoao* de la figure 20.

Faces de la zone h^1g^1. — Supposons que les faces des hémioctaèdres (fig. 27) deviennent verticales; on aura quatre plans ($eBce'''$, $e'Dc''E$ en avant et les deux parallèles en arrière).

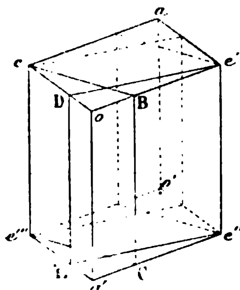


Fig. 27.

Considérons le plan $EBce'''$; il est parallèle à *h* ou *oa'*, ce qu'on exprime par $h\frac{1}{0}$; il intercepte sur l'arête *oe'* un segment $OB = \frac{1}{x}\, oe' = \frac{1}{x}\, d$, et sur *oe* un segment égal à *oe* ou *d*. Le symbole de la face est $h\frac{1}{0}\, d^1\, d\frac{1}{x}$; on convient de représenter le symbole d'un plan de ce genre par la même lettre que l'arête à laquelle il est parallèle et d'écrire à la façon d'un exposant le rapport des segments interceptés sur les deux autres arêtes. Le symbole est donc h^x. Il y a quatre plans de ce genre formant ensemble un prisme dont l'angle est plus

ouvert que celui du prisme primitif. Des deux faces h_x on représente seulement celle pour laquelle $x > 1$. x est toujours rationnel et ordinairement simple.

On pourrait avoir des prismes à angle antérieur plus aigu que le primitif. Les segments se comptent, pour ces prismes dits plus aigus, à partir des sommets e, sur les arêtes *e'e''oug*, *e'ooud*, *e'aoub*.

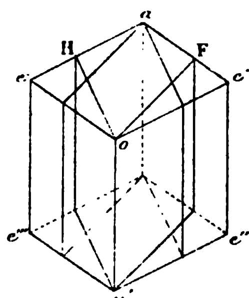


Fig. 28.

Le symbole serait ici $g^{\frac{1}{0}} d^1 b^{\frac{1}{x}}$ et par abréviation $g^{\frac{1}{x}}$. Comme précédemment, on prend $x > 1$; x est le plus souvent un nombre très simple, 2, 3, $\frac{3}{2}$.

Octaèdre rectangulaire oblique. — Il résulte de quatre faces appartenant à la zone ph^1 combinées à quatre faces de la zone h^1g^1. Les deux prismes se coupent suivant un rectangle mené par le centre parallèlement aux bases *aeoe* de la forme primitive. Deux plans parallèles du premier prisme interceptent sur les arêtes *ae*, *ae*, des segments égaux $\frac{1}{m}ae$ et sur l'arête h postérieure un segment $\frac{1}{n}h$; ils ont pour symbole $a^{\frac{n}{m}}$; les deux autres plans parallèles rencontrent l'arête h antérieure à la distance $\frac{1}{n}h$, et les arêtes *oe*, *oe*, à des distances $\frac{1}{m}d$; ils ont pour symboles $o^{\frac{n}{m}}$. Enfin, les quatre faces du second prisme interceptent des segments $\frac{1}{m}b$, $\frac{1}{m}d$, $\frac{1}{n}g$, et ont pour symboles $e^{\frac{n}{m}}$ (fig. 29).

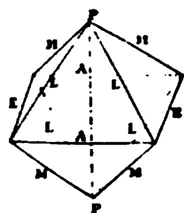


Fig. 29.

La notation des arêtes montre que les dièdres égaux sont situés de chaque côté d'un plan de symétrie perpendiculaire aux faces antéropostérieures et à la diagonale horizontale.

Toutes les formes qu'on rencontre dans le prisme clinorhombique se décomposent de même en systèmes de deux plans per-

pendiculaires à un plan de symétrie ou d'un prisme à quatre faces parallèles deux à deux et inclinées du même angle sur ce plan de symétrie.

Caractère pratique. — On reconnaît qu'une forme cristalline appartient à ce système en constatant l'égalité des angles dièdres symétriquement disposés à droite et à gauche d'un même plan, ou d'un axe, ou même d'un plan et d'un axe rectangulaires entre eux. On est convenu de placer toujours devant soi le plan de symétrie.

CHAPITRE VI

SYSTÈME DU PRISME ORTHORHOMBIQUE

La base reste un rhombe ou un rectangle; mais elle est perpendiculaire dans toutes les directions sur les pans du prisme (fig. 30).

Prisme orthorhombique. — Les arêtes basiques correspondent toutes à des dièdres de 90°; elles ont la même longueur; elles sont donc toutes semblables et toutes notées *b*; les angles solides antérieurs et postérieurs, ayant même composition, ne diffèrent pas non plus et sont notés *a*; les angles solides latéraux restent distincts des précédents, mais semblables entre eux; on les appelle *e*. Il y a toujours deux arêtes verticales *g*, l'une à droite, l'autre à gauche, deux arêtes *h*, l'une en avant, l'autre en arrière; deux bases *p* et quatre pans *m*.

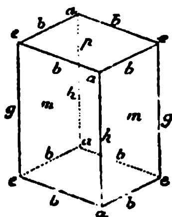


Fig. 30.

Dimensions du prisme choisi comme forme primitive. — Il suffit ici de connaître l'angle *mm* des deux faces de ce prisme et le rapport d'une des arêtes *b* à la hauteur *h*; c'est ce qu'on ob-

tient au moyen de deux angles dièdres. On choisit comme faces du prisme primitif, ainsi que nous l'avons déjà dit, celles qui dominent dans les cristaux de l'espèce qu'on veut déterminer, surtout celles qui sont parallèles à des directions de clivage.

Axes. — Les lignes menées par le centre du milieu d'une face opposée sont, comme toujours, parallèles aux arêtes, et forment comme elles un système de droites dont *deux sont égales, obliques entre elles et perpendiculaires à la troisième, qui a une longueur différente.*

On peut aussi, comme dans le système précédent, prendre pour axes trois lignes passant par le centre et parallèles, la première à une arête verticale, la seconde aux diagonales *aa*, la troisième aux diagonales *ee*. On obtient ainsi : *trois axes inégaux en longueur, mais rectangulaires entre eux.*

Prisme droit à base rectangle. — On peut, comme pour le système précédent, inscrire un prisme rectangulaire HH'KK'MM' dans ce prisme primitif ; il sera également composé de deux faces h^1 et de deux faces g^1 (fig. 31).

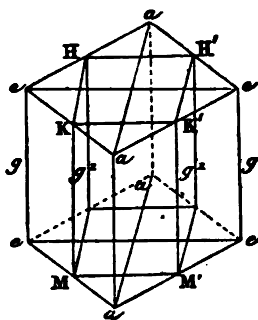


Fig. 31.

Plans et axes de symétrie. — La base étant à 90° des pans et des arêtes h, aussi bien que des arêtes g, des plans h^1, aussi bien que des plans g^1, les trois plans menés par le centre parallèlement à ces derniers h^1, g^1 et à la base p, divisent chacun le prisme orthorhombique et le rectangulaire en demi-prismes égaux : et ce sont des *plans de symétrie.*

Ces trois plans OPRQ, KLMN, STUV se coupent suivant trois droites *ag*, *de*, *fb*, qui passent par le centre et qui sont des axes de *symétrie* (fig. 32) (c'est le second système d'axes dont nous avons parlé plus haut). La symétrie de ces trois lignes n'est que *binaire.*

Formes dérivées. — Les huit arêtes b étant semblables sont remplacées ensemble par des plans parallèles (fig. 33).

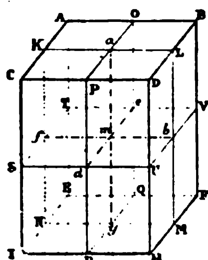


Fig. 32.

Chacun de ces plans a pour expression : $b^{\frac{1}{o}} b^{\frac{1}{m}} g^{\frac{1}{n}}$, ou ce qui revient au même : $b^{\frac{1}{0}} b^{\frac{1}{m}} h^{\frac{1}{n}}$, par abréviation $b^{\frac{n}{m}}$. Les huit plans $b^{\frac{n}{m}}$ produisent un *octaèdre, forme fermée,* puisqu'ils enferment une partie de l'espace sans le secours d'une autre forme. La base commune aux deux pyramides supérieure et inférieure est la section droite du prisme. Ces formes sont des octaèdres à section droite rhombique. La figure 34 montre l'octaèdre b^1, inscrit dans le prisme *pm*.

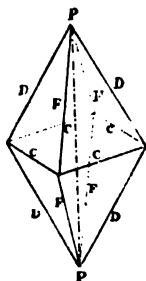


Fig. 33.

Ces deux octaèdres se reconnaissent par la répétition de leurs angles dièdres égaux, à droite et à gauche de trois plans rectangulaires entre eux. Ces trois plans, qui sont ceux de symétrie, ressortent d'eux-mêmes dans la figure dont les arêtes dessinent quatre à quatre trois sections rhombiques (fig. 33). Ils coupent les faces de l'octaèdre rectangulaire suivant leurs lignes de plus grande pente. On les appelle souvent *sections principales.*

Octaèdre droit rectangulaire. — Il se compose de deux prismes rhombiques quelconques ayant chacun leurs arêtes parallèles à l'un des axes de symétrie et appartenant par conséquent à l'une des zones g^1h^1m, ph^1, pg^1. Deux de ces prismes combinés forment un octaèdre à section droite rectangulaire. Les faces des zones ph^1 et pg^1 rencontrent les unes l'arête h et les deux arêtes adjacentes b à celle-ci ; les autres, l'arête g et les deux arêtes b qui lui sont adjacentes. Les premières ont pour symbole $b^{\frac{1}{m}} b^{\frac{1}{m}} h^{\frac{1}{n}}$ et par abréviation $a^{\frac{n}{m}}$; les autres ont pour symbole $b^{\frac{1}{m}} b^{\frac{1}{m}} g^{\frac{1}{n}}$ et par abréviation $e^{\frac{n}{m}}$.

Toutes les formes simples de ce système, lorsqu'elles présentent toutes leurs faces possibles, se ramènent à des prismes et à des octaèdres orthorhombiques, ou aux deux systèmes de plans parallèles h^1 et g^1, et toutes les faces sont ou perpendiculaires ou disposées symétriquement de chaque côté des sections principales ou plans de symétrie. Les formes plus complexes ne sont que des combinaisons des formes simples et conservent la même disposition relativement aux sections principales. En résumé, les formes complètes du système orthorhombique ont pour caractères : 1° l'égalité des angles dièdres distribués à droite et à gauche de chacun des trois plans de symétrie ou sections principales, ce qui les distingue des formes des systèmes précédents; 2° la variation des angles dièdres disposés de chaque côté des plans de symétrie, quand on passe d'un de ces plans à un autre, ce qui les distingue des formes des systèmes suivants. (Voyez les figures ci-dessus représentant les octaèdres où les dièdres égaux sont notés au moyen des mêmes lettres, et les différents à l'aide de lettres différentes aussi.)

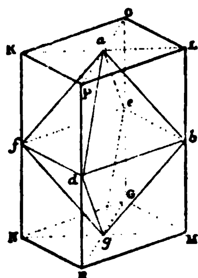


Fig. 34.

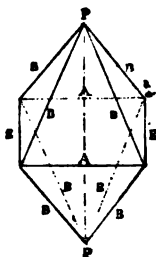


Fig. 35.

CHAPITRE VII

SYSTÈME QUADRATIQUE

Soit un prisme droit à quatre faces ayant pour base un carré.

Plans et axes de symétrie. — Les trois plans menés par son centre parallèlement à ses faces sont des plans de symétrie rectangulaires entre eux, et les intersections de ces plans *ag*, *de*, *fb*, sont trois axes de symétrie également perpendiculaires les uns sur les autres. De plus, $de = fb$. On a donc trois *axes parallèles aux arêtes du prisme, rectangulaires entre eux, et dont deux sont égaux.* On pourrait mener par les arêtes verticales deux autres plans, et par les diagonales de la section droite deux axes de symétrie perpendiculaires l'un sur l'autre (fig. 36).

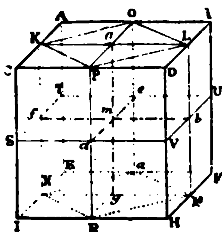


Fig. 36.

L'axe vertical a une *symétrie quaternaire*; les autres ont une *symétrie binaire*. L'axe vertical est dit *principal*.

Notation du prisme. — Les éléments semblables sont : huit arêtes basiques *b*; quatre arêtes verticales *h*; huit angles solides *a*; deux bases *p* : quatre pans *m*.

Dimensions du prisme. — Supposons les huit arêtes semblables *b* remplacées par des faces qui leur soient parallèles et s'inclinent sur la base (fig. 37). Les huit faces nouvelles produisent un octaèdre ou double pyramide à quatre faces. Mesurons le dièdre de deux faces adjacentes des pyramides supérieure et inférieure. Appelons x le demi-angle *boh* de l'octaèdre, *b* le côté de la base, *h* la hauteur *ho*,

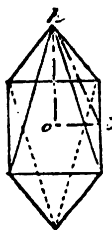


Fig. 37.

$$\operatorname{tg} x = \frac{1/2\ h}{1/2\ b} = \frac{h}{b}.$$

Le même cristal porte souvent les facettes de plusieurs octaèdres étagées les unes au dessus des autres. On aura $tg\,\alpha' = \frac{h'}{b'}$ pour l'une, $tg\,\alpha'' = \frac{h''}{b''}$ pour l'autre. En faisant les calculs, on voit que $tg\,\alpha' = m\,tg\,\alpha''$, $tg\,\alpha = n\,tg\,\alpha$, m et n étant des nombres rationnels, toujours fort simples, 2, 3, 1/2, 1/3, etc. Si on prend un de ces rapports $\frac{h}{b}$, on aura fixé la hauteur et la base d'un octaèdre et du prisme circonscrit : c'est celui-ci qu'on prend pour forme primitive.

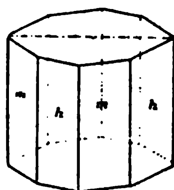


Fig. 38.

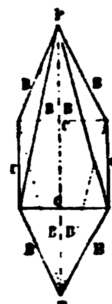


Fig. 39.

Formes dérivées. — Les formes simples du système quadratique (fig. 38) sont un prisme quadratique inverse $h^{\frac{1}{u}}\ b^{\frac{1}{m}}\ b^{\frac{1}{m}}$ ou h^1, des octaèdres $b^{\frac{1}{0}}\ h^{\frac{1}{m}}\ b^{\frac{1}{n}}$, qu'on note par abréviation, suivant la convention indiquée plus haut, $g^{\frac{m}{u}}$, ou $h^{\frac{1}{m}}\ b^{\frac{1}{n}}\ b^{\frac{1}{n}}\ \left(a^{\frac{m}{n}}\right)$ des prismes et des doubles pyramides à base octogonale (fig. 39).

Caractères pratiques. — Quatre angles dièdres égaux intersections de quatre faces formant une zone autour de l'axe de principale symétrie, ou disposés en pyramides aux deux extrémités de cet axe, qui a, comme nous l'avons dit plus haut, une symétrie quaternaire.

CHAPITRE VIII

SYSTÈME A AXE PRINCIPAL SÉNAIRE OU TERNAIRE

1° SOUS-SYSTÈME HEXAGONAL

AXE PRINCIPAL SÉNAIRE.

La symétrie sénaire étant possible dans les assemblages cristallins, le polyèdre le plus simple qui puisse présenter un axe de cette symétrie est le prisme hexagonal régulier.

Prenons-le comme forme primitive.

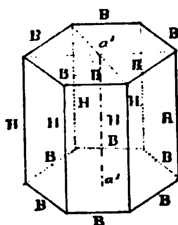


Fig. 40.

La figure 40 montre ses éléments semblables : deux bases P aux extrémités de l'axe vertical aa' ; six pans M ; douze arêtes basiques B (six à chaque base) ; six arêtes verticales H ; douze angles solides A.

Plans de symétrie. — On y observe d'abord un plan de symétrie horizontal mené par le centre et deux systèmes de plans de symétrie verticaux, composés, le premier, de trois plans perpendiculaires à deux faces opposées et aux arêtes basiques B ; le second, de trois plans qui passent par deux arêtes également opposées et par les diagonales de la base.

Axes de symétrie. — Un axe vertical à symétrie sénaire et trois axes horizontaux menés par le centre du milieu d'une face au milieu de la face opposée, ou trois axes menés par le centre suivant les diagonales de la section droite, qui est un hexagone régulier.

Les formes dérivées du prisme hexagonal se composent : d'un second prisme hexagonal dont les faces sont parallèles aux arêtes du primitif et coupent deux arêtes adjacentes B de ses bases à des distances égales ($H \frac{1}{0} B \frac{1}{m} B \frac{1}{m}$ ou h^1) ; des primes à douze faces formés

par des couples de faces symétriquement placées, l'une à droite, l'autre à gauche des mêmes arêtes du primitif; des doubles pyramides à six faces ou dihexaèdres dont les uns ont les côtés de leur base commune parallèles aux diagonales (dihexaèdres b^n) et dont les autres ont les côtés de cette base perpendiculaire aux diagonales de la base du prisme primitif (fig. 41); des didodécaèdres ou doubles pyramides à douze faces (fig. 42).

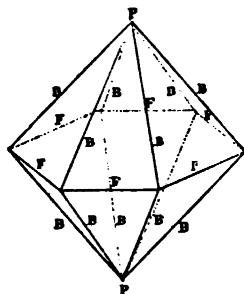


Fig. 41.

Caractère pratique. — Le caractère pratique de toutes ces formes, c'est qu'elles présentent toutes six dièdres égaux à chaque pyramide ou sur le prisme autour d'un axe de principale symétrie, axe PP des deux dernières figures, axe marqué a^1 a^1 dans la figure 42, lequel possède le système sénaire.

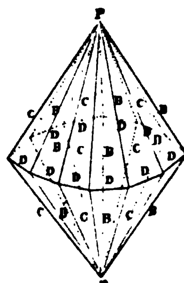


Fig. 42.

2° SOUS-SYSTÈME, AXE PRINCIPAL TERNAIRE

FORMES RHOMBOÉDRIQUES.

Dans le plus grand nombre des espèces qui présentent des prismes hexagonaux, on voit les angles solides ou les arêtes basiques du prisme modifiées seulement de 2 en 2, suivant une loi d'alternance qui montre qu'il n'y a pas là une déformation accidentelle, mais une forme propre à la substance. Dans le calcaire, par exemple, on observe des prismes hexagonaux dont les arêtes basiques sont modifiées par des facettes régulières, toutes faisant le même angle

avec le prisme, mais de telle façon qu'une arête modifiée alterne avec une arête demeurée intacte (fig. 43).

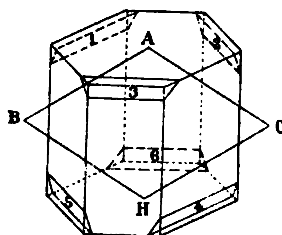
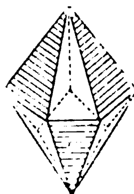


Fig. 43.

Le plan 3 prolongé rencontre les plans 1 et 4 qui sont parallèles entre eux, si on les prolonge suffisamment aussi, suivant des intersections parallèles AB, CH; il rencontre les plans 2 et 5, qui sont également parallèles, si on les prolonge, suivant deux droites parallèles AC et BH. En outre, par symétrie, les intersections AB et AC du plan 3 et des plans 1 et 2 sont égales par raison de symétrie; donc, la figure ABCH est un losange. Il en est de même pour toutes les faces substituées aux arêtes, dont l'ensemble constitue un parallélipipède dont les faces sont égales et ont la forme de losanges ou de rhombes, ce qui le fait appeler *rhomboèdre.*

Les trois plans de symétrie passant par l'axe sénaire du prisme hexagonal et par les apothèmes de ses bases se conservent dans le rhomboèdre produit sur les arêtes basiques de ce prisme; mais les plans de symétrie verticaux parallèles aux diagonales de la section hexagonale ont disparu. L'axe sénaire n'a plus qu'une symétrie ternaire; un seul des deux systèmes d'axes binaires persiste, celui des trois axes menés par le centre parallèlement aux diagonales de la base; car, le rhomboèdre possédant un centre de symétrie, comme tous les parallélipipèdes et trois plans de symétrie, doit présenter les trois axes binaires perpendiculaires à ces plans et ceux-là seulement. Tout dihexaèdre est décomposable en deux rhomboèdres égaux, tels que, si on laisse l'un de ces deux rhomboèdres fixe et qu'on fasse tourner l'autre de 60° autour de l'axe ternaire, celui-ci vient se superposer au précédent. L'un de ces deux rhomboèdres a ses faces et ses arêtes situées vis-à-vis des arêtes et des faces de l'autre. Les deux sont ce qu'on appelle *inverses*, ou en position inverse (fig. 44).


Fig. 44.

Par extension, on appelle *rhomboèdres inverses*, par rapport au primitif, ceux qui ont leurs faces placées vis-à-vis des arêtes et leurs arêtes vis-à-vis des faces du rhomboèdre primitif, quels que soient les angles de leurs faces.

L'axe de symétrie sénaire a^1a^1 du prisme hexagonal devenu ternaire dans le rhomboèdre exige autour de lui des éléments qui se répètent 3 par 3 identiques entre eux, 3 faces, 3 dièdres ou arêtes AI, AC, AB au sommet A, 3 autres A'E, A'H, A'D qui concourent au sommet de l'angle solide A' inférieur. Les angles A et A' composés de dièdres tous égaux et de faces identiques sont appelés *culminants*. Les arêtes qui se rencontrent aux sommets A et A' sont dites *culminantes*. Les arêtes CE, EI, IH, BH, HD, DC sont appelées *arêtes latérales* ou *en zigzag*; les angles E, I, H, B, D, C sont les *angles latéraux* (fig. 45).

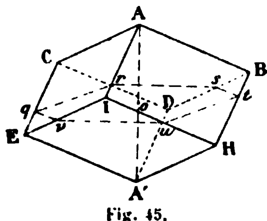


Fig. 45.

Les arêtes culminantes jouent le rôle d'obliques égales vis-à-vis de l'axe ternaire AA', et leurs pieds C, I, B déterminent un plan horizontal, l'axe AA' étant maintenu verticalement, comme dans la figure. Le triangle horizontal CIB est en même temps équilatéral ; il en est de même du triangle inférieur EDH. Les diagonales des faces CI, BI, CB ou EH, DH, DE sont appelées *horizontales* ; les diagonales AE, AH, AD et A'I, A'B, A'C sont appelées *inclinées*; celles-ci sont les projections de l'axe AA' sur les faces et les intersections de ces faces avec les trois plans de symétrie AEA'B, AEA'H, AIA'D.

Enfin, le plan mené par le centre perpendiculairement à l'axe coupe les faces à égale distance des sommets A et A' et des triangles équilatéraux supérieur et inférieur suivant un hexagone régulier horizontal qui rencontre les arêtes latérales en leurs milieux *q*, *z*, *s*, *t*, *u*, *v*. Les axes binaires sont *qt*, *vs*, *ur*.

Notation du rhomboèdre. — On désigne, comme toujours,

par les mêmes lettres les éléments semblables. Le rhomboèdre présente 2 angles culminants *a*,

6 angles latéraux *e*,
6 arêtes culminantes *b*,
6 arêtes latérales ou en zigzag *d* (fig. 46).

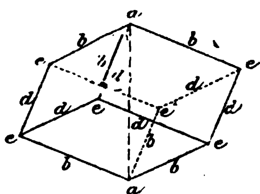


Fig. 46.

Les dièdres *d* sont supplémentaires des dièdres *b*. Dans le calcaire, les dièdres *b* valent 105°5″; on dit que le rhomboèdre est *obtus*; les dièdres *d* valent 74°55. Dans le corindon, les dièdres *b* valent 86°4′; on dit que le rhomboèdre est *aigu*.

Fidèles à notre convention, nous choisissons comme axes de coordonnées auxquels nous rapportons les faces d'un cristal rhomboédrique, les trois arêtes d'un même angle solide, en prenant le sommet de cet angle comme origine. Les axes du cristal mené par le centre sont trois droites parallèles aux arêtes du prisme; ces trois axes sont égaux et inclinés l'un sur l'autre.

Dimensions du prisme. — Les arêtes ayant la même longueur, leur rapport de longueur égale 1. Il suffit donc de connaître un angle dièdre pour construire le rhomboèdre ou un rhomboèdre. Il est plus facile de le construire avec l'angle plan; on calcule celui-ci au moyen de l'angle dièdre (fig. 36).

Formes dérivées. — *Face* $e^{1/2}$; le *vrai rhomboèdre inverse*. Elle intercepte une arête *b* entière, et la moitié des arêtes *ee*, *ee* ou *d* qui concourent avec la précédente au sommet d'un angle *e*; elle a pour expression b^1, $d^{1/2}$, $d^{1/2}$, et par abréviation $e^{1/2}$; elle satisfait à la symétrie binaire qui caractérise l'arête *b*; elle coupe la face du rhomboèdre suivant un côté de l'hexagone régulier horizontal mené par le centre. Les six arêtes *b* semblables étant modifiées de même donnent un solide à six faces.

Il est facile de voir que la face $e^{1/2}$ et la face *p* du rhomboèdre primitif qui lui est sous-jacente sont symétriques par rapport à l'axe et font le même angle avec lui. Aussi les six faces $e^{1/2}$, en se

coupant, déterminent-elles un solide identique au primitif, à part la différence de position. Le rhomboèdre dérivé $e^{1/2}$ a ses faces vis-à-vis des arêtes du primitif, et réciproquement; il est tourné à 60° de ce dernier, il possède les mêmes angles (voy. fig. 44).

Rhomboèdre e^1. — Il intercepte sur les arêtes b, d, d d'un même angle solide latéral e un même segment $\frac{1}{m}$; on a donc $b\frac{1}{m}\ d\frac{1}{m}\ d\frac{1}{m}$ ou $e\frac{1}{m} : \frac{1}{m} = e^1$ pour son symbole (fig. 47).

Ce rhomboèdre est plus aigu que le précédent, puisque ses faces vont rencontrer beaucoup plus loin l'axe aa'.

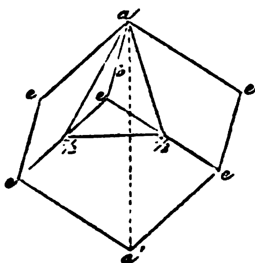


Fig. 47.

Prisme hexagonal e^2. — Supposons que le plan qui modifie l'angle e aille rencontrer l'arête b et l'axe aa' de plus en plus loin, il finira par lui devenir parallèle; les six faces du rhomboèdre devenues verticales formeront, en se coupant, un prisme hexagonal de longueur indéfinie, forme ouverte, dont le symbole est e^2, comme on le prouverait facilement par une construction géométrique (fig. 48). Ce prisme est terminé dans les cristaux par d'autres formes, tantôt par des rhomboèdres aigus ou obtus, tantôt par des plans parallèles aux triangles équilatéraux et qui lui donnent des bases.

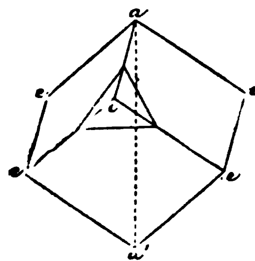
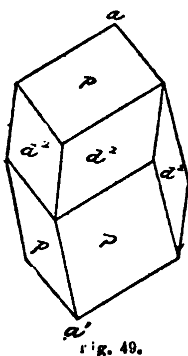


Fig. 48.

Face a^1. — Le triangle équilatéral interceptant sur les arêtes b qui concourent aux sommets des angles a des segments égaux ou proportionnels à leur longueur a pour symbole $b\frac{1}{m}\ b\frac{1}{m}\ b\frac{1}{m}$ ou a^1.

Faces $a^{\frac{m}{n}}$. — En modifiant les angles a par des plans symétriques par rapport à une des arêtes b et interceptant sur celle-ci un segment $\frac{1}{n}$ et sur les deux autres des segments $\frac{1}{m}$, on obtiendrait des rhomboèdres $a^{\frac{m}{n}}$.

Second prisme hexagonal d^1. — Si on remplace les arêtes latérales d par des faces verticales, on obtient un second prisme hexagonal. On voit que ses faces ont pour symbole $d\frac{1}{o}\ b\frac{1}{m}\ d\frac{1}{m}$ ou d^1 ; il est, par sa position, inverse du premier (fig. 49).


Fig. 49.

Scalénoèdres. — Si l'on casse les faces d'un rhomboèdre suivant les diagonales inclinées, et qu'on fasse tourner chaque système de demi-faces du même angle autour de ces diagonales comme charnières, les six faces du rhomboèdre en donnent douze, qui ont en général la forme de triangles scalènes. Les lettres majuscules placées sur les arêtes montrent la disposition ternaire des dièdres de même valeur autour de l'axe vertical PP. Les faces de ces scalénoèdres, placées symétriquement à droite et à gauche des plans de symétrie ou sections principales du rhomboèdre, interceptent, sur les trois arêtes qui concourent au sommet d'un même angle, des segments $\frac{1}{m}$, $\frac{1}{n}$, $\frac{1}{p}$ (fig. 50).

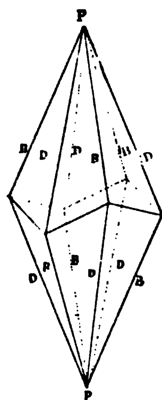


Fig. 50.

Pour certains rapports entre les segments m, n, p, les triangles scalènes deviennent isocèles, le polygone gauche qui leur sert de base commune devient un hexagone plan, et les dièdres égaux sont alors distribués par six autour de l'axe vertical. On a un *dihexaèdre*, ou double pyramide à six faces.

Le rhomboèdre primitif et son inverse $e^{1/2}$ donnent aussi un dihexaèdre par leur combinaison.

Détermination pratique. — Les faces et les dièdres égaux sont toujours distribués par trois ou par un multiple de trois autour et à chaque extrémité d'un axe et d'un seul de principale symétrie. Les formes simples sont des rhomboèdres, des prismes

hexagonaux, des scalénoèdres, des doubles pyramides à six, à douze, rarement à trois faces, enfin deux plans perpendiculaires à l'axe de principale symétrie, qui se combinent de façon à donner un nombre infini de formes souvent très complexes, mais qu'on analyse facilement en décomposant leurs dièdres en systèmes disposés symétriquement par 3 autour de leur axe principal.

De l'hémiédrie plagièdre. — Les cristaux de quartz ont la forme de prismes hexagonaux terminés à chaque extrémité par des pyramides hexagonales. Quelquefois le prisme y disparaît plus ou moins complètement. Les pyramides hexagonales résultent de la combinaison d'un rhomboèdre primitif p et de son inverse $e^{1/2}$.

On s'attendrait à voir sur les angles du prisme deux facettes symétriquement placées de chaque côté des trois plans de symétrie, qui mèneraient au scalénoèdre. On voit que, des deux facettes symétriques par rapport à chacun de ces plans, il ne s'en développe qu'une. Le scalénoèdre se réduit à un solide à six faces qui n'a plus de plan de symétrie, bien que son axe vertical garde toujours la symétrie ternaire caractéristique. Les facettes s'inclinent toutes dans la même direction sur le même cristal ; elles y sont disposées suivant des sortes d'hélices, enroulées à droite sur certains cristaux, à gauche sur les autres.

On appelle *hémièdres* les formes qui n'ont que la moitié des faces que présentent celles de même origine à symétrie complète dans le même système, et plus spécialement *plagièdres* celles qui n'ont plus de plans de symétrie. Le quartz est plagièdre et fait tourner le plan de la lumière polarisée dans la direction où s'inclinent les facettes dissymétriques.

CHAPITRE VIII

SYSTÈME CUBIQUE

Nous avons vu, page 20, que le cube a trois plans de symétrie et trois axes égaux et rectangulaires entre eux, parallèles à ses arêtes ou passant par les milieux de deux faces opposées. Ces axes ont tous les trois une *symétrie quaternaire*, comme l'axe principal du système quadratique.

On peut aussi, en plaçant verticalement une des grandes diagonales du cube qui joignent deux angles solides opposés, constater qu'elles ont toutes les quatre une *symétrie ternaire*, comme l'axe principal des cristaux du système rhomboédrique.

Enfin, les lignes qui joignent les milieux des arêtes opposées ont une *symétrie binaire* et sont perpendiculaires aux six plans de symétrie qui passent par les diagonales des faces.

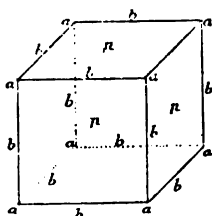


Fig. 51.

Il y a donc, en résumé, dans le cube, trois axes de symétrie quaternaire, quatre de symétrie ternaire, six de symétrie binaire.

Notation du cube. — Douze arêtes semblables *b*; huit angles solides *a*; six faces *p*. Les éléments des prismes, au fur et à mesure qu'ils deviennent semblables, sont, comme on le voit, en comparant leur notation à celle du prisme doublement oblique, notés au moyen de lettres de plus en plus élevées dans l'ordre alphabétique (fig. 51).

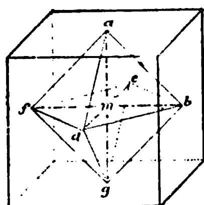


Fig. 52.

Formes dérivées. Octaèdre régulier. — Produit par des faces qui interceptent sur ces trois arêtes *b* d'un même angle solide *a*, des segments égaux $b^{\frac{1}{m}} b^{\frac{1}{m}} b^{\frac{1}{m}}$ ou a^{1} (fig. 52).

Il est formé de huit pyramides triangulaires, *mabd* (fig. 52), qui ont le centre du

cube pour sommet commun et les faces de l'octaèdre pour bases.

Octotrièdre. — Ces bases peuvent être chargées de trois triangles isocèles symétriquement placés autour des axes ternaires, et le solide devient un *octotrièdre* (fig. 53).

Il est produit par des faces qui interceptent sur les trois arêtes b de chaque angle solide des segments $b^{\frac{1}{m}}\ b^{\frac{1}{m}}\ b^{\frac{1}{n}}$ et a pour notation $a^{\frac{1}{n}} : ^{\frac{1}{m}}$ ou $a^{\frac{n}{m}}$, m étant plus grand que n.

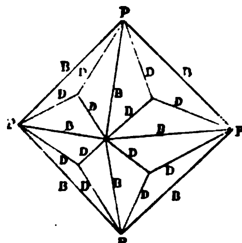


Fig. 53.

Icositétraèdre ou trapézoèdre. — Les huit régions élémentaires du cube peuvent être occupées par des trièdres qui ont toujours le centre du cube pour sommet commun, mais qui se terminent extérieurement par un système de trois faces à forme de quadrilatères (fig. 54 et 55). Ces quadrilatères ont leurs côtés adjacents

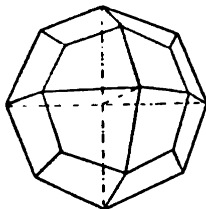


Fig. 54.

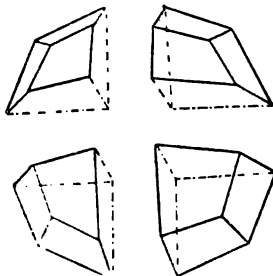


Fig. 55.

égaux deux à deux; on leur donne souvent, en cristallographie, le nom de *trapézoïdes symétriques*, et la forme qui résulte de leur ensemble a été appelée *trapézoèdre*. Beaucoup d'auteurs trouvent mauvaise cette dénomination, qui ferait confondre les quadrilatères avec les vrais trapèzes dont deux côtés sont parallèles, et donnent à cette forme le nom d'*icositétraèdre* (solide à vingt-quatre faces).

Les trapézoèdres ont pour symbole $b^{\frac{1}{m}}\ b^{\frac{1}{n}}\ b^{\frac{1}{n}}$ ou $a^{\frac{m}{n}}$, m étant toujours plus grand que n.

Hexoctaèdre. — Les huit régions sont ici limitées extérieurement par des angles solides à six faces (fig. 56).

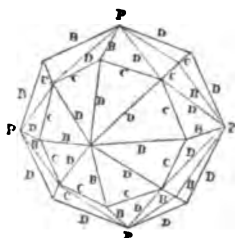


Fig. 56.

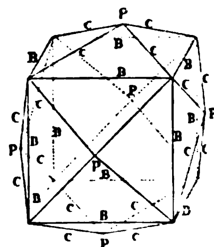


Fig. 57.

Hexatétraèdre ou cube pyramidé. — Solide terminé extérieurement par six pyramides à quatre faces à forme de triangles isocèles, qui coiffent les faces du cube et qui sont parallèles à ses arêtes. Elles ont pour symbole $b^{\frac{1}{o}}\ b^{\frac{1}{m}}\ b^{\frac{1}{n}}$ ou $b^{\frac{m}{n}}$ (fig. 57).

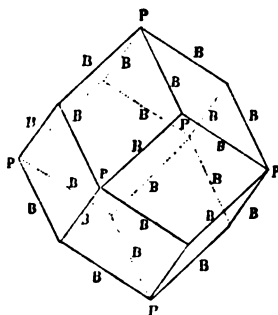


Fig. 58.

Dodécaèdre rhomboïdal. — Supposons que deux triangles isocèles adjacents de la forme précédente tournent autour de leur base commune, jusqu'à ce qu'ils soient sur le même plan. Leurs côtés restés égaux deviennent ceux d'un rhombe, et le solide total qui n'a plus que douze faces est nommé *dodécaèdre rhomboïdal*. Ces faces ont pour symbole : $b^{\frac{1}{o}}\ b^{\frac{1}{m}}\ b^{\frac{1}{n}}$ ou b^1 (fig. 58).

Caractère pratique des formes du système cubique. — Les lettres majuscules inscrites sur les arêtes des formes précédentes montrent la disposition symétrique des angles dièdres égaux qui leur correspondent par trois ou par quatre autour des axes que nous avons appelés de *symétrie ternaire* et *quaternaire*.

Les formes simples que nous venons de décrire, en se combi-

nant les unes avec les autres, peuvent donner lieu à des formes extrêmement complexes ; mais leur caractère commun est de présenter trois angles dièdres égaux autour de quatre directions également inclinées l'une sur l'autre, ou quatre dièdres égaux autour de trois directions rectangulaires entre elles.

La figure 59 montre un dodécaèdre qui ressemble, au premier abord, au rhomboïdal précédent ; mais celui-ci est une combinaison d'un prisme quadratique et d'un octaèdre placé sur les angles du prisme. Tandis que dans le dodécaèdre du système cubique les angles dièdres B se répètent égaux quatre par quatre autour des trois axes qui joignent deux à deux les angles solides P, dans celui de la figure 59, il ne reste plus que deux angles solides P, aux extrémités d'un axe à symétrie quaternaire, les axes qui joignent deux à deux les quatre angles solides M, n'ayant qu'une symétrie binaire.

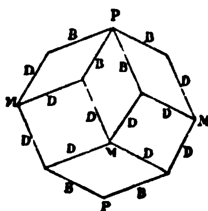
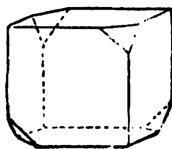


Fig. 59.

CHAPITRE IX

DE L'HÉMIÉDRIE

On a vu qu'à une même force primitive se rattachent d'autres formes qu'on nomme dérivées, qu'on peut observer seules ou combinées entre elles dans toutes les espèces minérales ; les lois de symétrie limitent, non pas le nombre maximum des faces que peut offrir une espèce, mais le nombre minimum. Un cube, par exemple, ne devra pas offrir sur ses angles moins de huit faces, puisqu'ils sont tous semblables et qu'ils ne peuvent être modifiés l'un sans l'autre.


Fig. 60.

Les cubes de blende (fig. 60) cependant ne portent des facettes que sur quatre de leurs angles, et cela de telle façon qu'un angle modifié alterne avec un angle resté intact.

Dans la blende on observe même le solide que forment ces faces prolongées jusqu'à leur rencontre; c'est non plus un octaèdre, comme dans le cas où les huit angles du cube sont tous remplacés par des plans, mais un *tétraèdre* formé de quatre faces qui se coupent deux à deux (fig. 61). Dans la pyrite, les arêtes du cube sont modifiées par des facettes qui leur sont parallèles. Les arêtes d'un cube sont des axes de symétrie binaire; une facette ne peut se produire d'un côté de l'arête sans se trouver répétée de l'autre côté ; la forme résultant des douze arêtes remplacées ainsi chacune par une paire de facettes symétriques est le cube pyramidé. Dans la pyrite (bisulfure de fer), il n'en est pas ainsi; chaque arête n'est remplacée que par une face, bien que celle-ci s'incline plus d'un côté que de l'autre. La forme résultante n'a donc plus que douze faces; on l'appelle *dodécaèdre pentagonal*, parce que ses douze faces (fig. 62) sont des pentagones. Ces formes n'ont que la moitié des faces qu'elles auraient si elles suivaient les lois de la symétrie telles que les a posées Haüy et telles que nous les avons énoncées. A cause de cela on les nomme *hémièdres*.

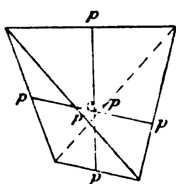


Fig. 61.

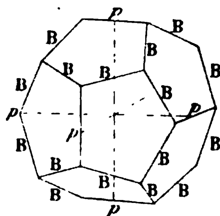


Fig. 62.

On ne peut douter qu'elles appartiennent tout aussi bien que les holoèdres (celles qui ont toutes les faces voulues par les lois d'Haüy) au système cubique, puisqu'on les observe seules ou combinées à des formes holoèdres de ce système.

Dans tous les systèmes, excepté dans celui du prisme bioblique, on trouve de ces formes hémièdres; elles sont souvent en connexion avec des propriétés physiques spéciales (*pyro-électricité, polarisation rotatoire*).

Quelques-unes n'ont plus de plans de symétrie (*plagièdres du quartz*, *facettes des acides tartriques*). Dans celles qui n'ont plus de faces parallèles deux à deux (*tétraèdres*), les axes de symétrie n'ont plus leurs extrémités opposées semblables (*hauteurs des tétraèdres*) ; mais si le degré de symétrie d'un des axes d'une forme holoédrique s'abaisse, les axes de même symétrie éprouvent les mêmes altérations dans la forme hémiédrique correspondante.

QUELQUES OBSERVATIONS SUR L'HÉMIÉDRIE.

Système cubique. — Le tétraèdre régulier conserve les trois axes de symétrie rectangulaires du cube ; mais ces axes n'y possèdent plus que la symétrie binaire, et, comme le tétraèdre n'a pas de centre de symétrie, les plans perpendiculaires à ces axes, c'est-à-dire les trois plans parallèles aux faces du cube, ont disparu ; au contraire, le tétraèdre garde les six plans de symétrie parallèles aux diagonales des faces cubiques qui bissèquent ses angles dièdres, et il perd les axes binaires perpendiculaires à ces plans dans le cube ; on retrouve dans toutes les formes tétraédriques les quatre axes ternaires qui sont les hauteurs des tétraèdres.

Le dodécaèdre pentagonal a des faces conformées en pentagones dont quatre côtés sont égaux, le cinquième différent, parallèle aux axes de symétrie binaire ; comme il a un centre de symétrie, il garde en même temps les trois plans de symétrie perpendiculaires à ces axes ; mais il ne possède ni les plans passant par les arêtes opposées du cube, ni les axes qui leur sont perpendiculaires ; les quatre axes ternaires du cube existent dans le dodécaèdre pentagonal et joignent les sommets des angles trièdres opposés *o*.

Certains cristaux cubiques présentent la combinaison de l'hémiédrie tétraédrique, dite *à faces inclinées* ou *antihémiédrie*, et de l'hémiédrie qui mène au dodécaèdre pentagonal, conservant des faces parallèles et qu'on nomme *parahémiédrie*.

Les cristaux affectés de cette double hémiédrie perdent tous leurs

plans de symétrie ; ils ne gardent que trois axes de symétrie binaire, rectangulaires entre eux, et quatre axes ternaires.

Les cristaux du système hexagonal offrent, comme on l'a vu plus haut, plusieurs cas d'hémiédrie ; des formes rhomboédriques que nous n'avons pas à étudier de nouveau ; des formes *plagièdres*, qu'on peut regarder comme *hémièdres* par rapport au rhomboèdre ou comme un cas de *tétartoédrie* si on les divise directement du prisme hexagonal. Nous ne pouvons, dans un ouvrage aussi succinct, que signaler en passant l'hémiédrie de l'apatite, qui donne lieu à de simples prismes hexagonaux placés de biais sur le prisme hexagonal primitif. Nous devons mentionner enfin l'hémiédrie polaire de la tourmaline qui fait que les deux extrémités de l'axe sénaire offrent des configurations différentes, les cristaux étant terminés à un bout par des rhomboèdres ou des bases, à l'autre par des rhomboèdres différents des premiers ou par des scalénoèdres ; cette hémiédrie porte plus particulièrement le nom d'hémimorphisme, parce qu'elle divise les cristaux en deux parties qui n'ont chacun que la moitié de la forme qu'ils auraient, s'ils étaient holoèdres.

Dans le système *quadratique*, on observe aussi l'antihémiédrie qui dédouble les octaèdres en deux tétraèdres inverses, dont l'un peut être superposé à l'autre après une rotation de 90° autour de l'axe quaternaire ; les dioctaèdres deviennent des tétraèdres dont les faces sont biselées. L'axe quaternaire des formes holoèdres n'a plus qu'une symétrie binaire, comme les deux axes horizontaux qui lui sont perpendiculaires ; on le reconnaît pratiquement à ce que la configuration qu'il présente à un bout se retrouve à l'autre à 90° ; aux deux sommets, les faces sont en même nombre, semblablement disposées et font entre elles les mêmes angles. On peut mentionner ici, comme hémiédrie observée dans ce système, celle du molybdate de plomb, de la scheelite ou tungstate de chaux qui produit des prismes et des octaèdres placés de biais par rapport aux pans de la forme primitive et qu'on ne reconnaît que sur les cristaux qui offrent à la fois des formes holoèdres et des facettes hémièdres.

Le *système orthorhombique* offre deux cas d'hémiédrie intéressants. Dans le premier, les octaèdres à section rhombique se dédoublent en deux tétraèdres, à section également rhombique, qui ont leurs angles solides disposés comme ceux de trièdres symétriques, sans être superposables. Dans le second, les deux extrémités d'un axe binaire ne portent plus les mêmes modifications; c'est un cas d'*hémimorphisme*; la combinaison des facettes qui en résulte peut produire un tétraèdre à section droite rectangulaire qu'il semblerait difficile, au premier abord, de distinguer des tétraèdres à section droite carrée ; mais l'observation des extrémités de l'axe binaire montre que les configurations y sont différentes en général, ou que, si elles se ressemblent, les faces n'y font pas les mêmes angles.

Dans le système *clinorhombique,* l hémiédrie observée jusqu'ici est celle qui affecte les cristaux d'acide tartrique; elle rentre dans l'*hémimorphisme*; les faces qui se produisent d'un côté du plan de symétrie ne se développent pas de l'autre; on obtient ainsi des cristaux *droits* et des cristaux *gauches.*

De toute cette étude cristallographique il résulte que le *minimum des éléments de symétrie* dans les formes *hémièdres, tétartoèdres*, ou plus généralement *mériédres*, peut être établi de la manière suivante :

Minimum des constantes cristallographiques dans les différents systèmes.

I. Système cubique. — Quatre axes ternaires; trois axes binaires de même espèce, ce qui veut dire qu'autour d'eux tout présente la même configuration.

II. Système hexagonal. — Formes hexagonales : axe sénaire. Formes rhomboédriques : axe ternaire.

III. Système quadratique. — Un axe quaternaire ; ou bien un axe binaire et deux plans de symétrie qui sont rectangulaires entre eux, qui sont de même espèce et qui ont pour intersection cet axe

dont les deux extrémités offrent des configurations identiques à 90° l'une de l'autre et qu'on pourrait appeler bibinaire.

Système orthorhombique. — Trois axes binaires ; ou bien un seul axe binaire et deux plans de symétrie, dont cet axe est l'intersection. Ici, les deux plans de symétrie diffèrent l'un de l'autre.

Système clinorhombique ou unioblique. — Un seul axe de symétrie binaire, ou un seul plan de symétrie.

Système bioblique. — Aucun élément de symétrie, pas même le centre qui existe encore dans les parallélipipèdes dits, en géométrie, *quelconques*.

TROISIÈME PARTIE

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MINÉRAUX

CHAPITRE PREMIER

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

§ 1. — CLIVAGES.

Quelques espèces minérales, comme le jade, présentent une grande résistance à la rupture et se cassent difficilement, même sous le choc violent d'un marteau ; on appelle cette résistance *ténacité*. Un grand nombre de pierres s'émiettent d'elles-mêmes ; on les dit *friables*.

Beaucoup de matières cristallisées ont une cassure très régulière. Que l'on frappe avec un marteau sur un cristal de calcaire, quelle qu'en soit la forme extérieure, on le voit se casser en prismes dont les faces sont inclinées l'une sur l'autre d'un angle constamment égal à 105°5' ou à son supplément.

Toutes les faces de ces fragments sont planes, lisses, brillantes. C'est à cette opération qu'on donne le nom de *clivage*.

Souvent, pour produire des clivages, on pose, dans certaines directions indiquées à l'avance par des fissures accidentelles, le tranchant d'une lame, dont on frappe le dos à l'aide d'un marteau. C'est ainsi qu'on obtient des octaèdres réguliers dans les cristaux de diamant, de fluorine..

Les clivages sont toujours en harmonie avec la symétrie cristalline. Des formes simples, telles qu'un cube (galène), un octaèdre

régulier (fluorine), un dodécaèdre rhomboïdal (blende), un rhomboèdre (calcaire), un octaèdre quadratique (anatase), se clivent suivant toutes leurs faces à la fois, et ces clivages ont la même netteté, si les cristaux sont régulièrement développés.

Un prisme clinorhombique se clivera suivant ses pans (amphibole, pyroxène), sans se cliver suivant sa base.

§ 2. — COHÉSION.

Les clivages proviennent des différences de cohésion des éléments du cristal dans les différentes directions.

En plaçant une pointe sur des cristaux et frappant plus ou moins fort sur la pointe, Reusch a obtenu des fentes qui sont des indices de clivages qui échapperaient à l'observation si l'on se contentait du choc d'un marteau ou d'une lame tranchante. C'est ce qu'on appelle les *figures du choc*.

Un cristal est comme un réseau dout la maille, plus serrée dans une direction que dans une autre, s'y déchire aussi plus facilement. Nous avons pu mesurer cette variation de la cohésion dans les cristaux de gypse. Les clivages des cristaux du gypse permettent d'en faire des prismes obliques à base rectangle ; le clivage le plus facile est parallèle au plan de symétrie; perpendiculairement à ce plan, il y a deux autres cassures faciles, quoique moins nettes, dont l'une a l'aspect vitreux, l'autre l'aspect fibreux ou soyeux. En enfonçant une aiguille fixée au bout d'un manche, et maintenue bien perpendiculaire à la lame de gypse, de manière à percer un trou dans une partie de son épaisseur, en tournant bien légèrement pour éviter les fentes, au contraire du procédé de Reusch, on parvient à écarter l'un de l'autre deux feuillets situés à une plus ou moins grande profondeur dans la masse. Entre ces feuillets décollés se développent des courbes irisées analogues à celles qu'on nomme *anneaux colorés de Newton* (fig. 63);

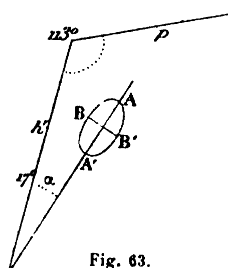


Fig. 63.

ces courbes ont la forme d'ellipses, dont le grand axe est situé à une distance $x = 17°$ de la trace du clivage h^1, à environ 50° du clivage fibreux p. Le rapport de l'axe AA' à l'axe BB' est de 1,247.

§ 3. — LIGNES PRINCIPALES D'ÉLASTICITÉ.

En se reportant à la conception qu'on peut se faire de la structure des cristaux, sur laquelle nous ne pouvons pas nous étendre dans cet ouvrage, on conçoit que toutes les directions d'un cristal n'aient pas la même élasticité, qu'elles n'exercent pas la même réaction sur une molécule de la masse déplacée de sa position d'équilibre.

Soit un cristal (fig. 64) ayant la forme d'un prisme droit à section rectangulaire qui possède trois axes de symétrie binaire oa, ob, oc et trois coefficients élastiques propres à chacun des axes, où, par conséquent, les réactions exercées par eux sur les composantes qui leur sont parallèles, tout en étant constantes sur un même axe, varient d'un axe à l'autre. Appelons δ le déplacement; x, y, z, ses composantes parallèles aux axes; a, b, c, les réactions exercées par les axes sur les composantes qui leur sont parallèles et x', y', z', les composantes ainsi modifiées.

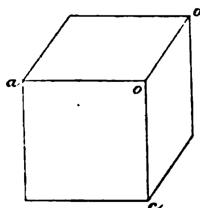


Fig. 64.

$$x' = a\,\delta \cos\alpha \qquad y' = b\,\delta\cos\beta \qquad z' = c\,\delta\cos\gamma$$

Admettons que x', y', z', soient les composantes de la réaction exercée par l'ensemble du cristal sur la molécule M et que nous appellerons ρ.

ρ est égale et contraire à la force qui déplace M. Celle-ci est proportionnelle au déplacement.

$$\delta^2 = x^2 + y^2 + z^2$$
$$\rho^2 = \delta^2 (a^2\cos^2\alpha + b^2\cos^2\beta + c^2\cos^2\gamma).$$

On voit qu'en général ρ prendra une direction différente de oM.

S'il y a dans le cristal des directions fixes suivant lesquelles se décomposent les mouvements, lorsqu'un mouvement leur sera parallèle, il ne se décomposera plus. On appelle *axes principaux* de dilatation, d'élasticité optique, etc., ces directions.

Une vibration lumineuse parallèle à l'une de ces directions n'est pas déviée; une file de molécules parallèle à l'un de ces axes se dilate parallèlement sous l'influence de la variation de la température; un flux de chaleur normal à une de ces lignes principales lui reste perpendiculaire, etc.

Les trois axes principaux sont communs à tous les phénomènes dans les cristaux physiques orthorhombiques.

Dans les cristaux quadratiques et hexagonaux qui possèdent deux axes cristallographiques égaux et un troisième axe perpendiculaire au plan des deux autres, axe de principale symétrie, quaternaire, ternaire ou sénaire, il y a un axe physique principal parallèle à l'axe de principale symétrie et une infinité d'axes perpendiculaires au précédent, qui ne diffèrent en rien l'un de l'autre.

Dans les cristaux du système monoclinique, il n'y a qu'un axe de symétrie binaire; c'est un axe principal commun à tous les phénomènes physiques; il y a toujours deux autres axes principaux perpendiculaires entre eux et au précédent, mais ils ne sont plus les mêmes pour tous les phénomènes; les axes de dilatation paraissent assez voisins des axes d'élasticité optique; nous avons démontré expérimentalement que les axes principaux de propagation thermique sont, au moins, très voisins de ceux de cohésion moléculaire, d'élasticité sonore, et nous pensons même qu'ils se confondent avec eux.

CHAPITRE II

PROPRIÉTÉS OPTIQUES.

§ 1. — DES VIBRATIONS LUMINEUSES.

Si on fait vibrer une lame encastrée par une extrémité B munie à son extrémité libre A d'un très petit stylet, barbe de plume par exemple, qui frotte pendant la vibration de la lame sur un papier enduit de noir de fumée et enroulé sur un cylindre tournant autour de son axe (fig. 65), les diverses positions de l'extrémité A de la lame, pendant sa vibration, sont enregistrées par le cylindre; une ligne sinueuse se dessine, en effet, sur le papier dont la barbe de plume enlève l'enduit de noir de fumée sur son passage.

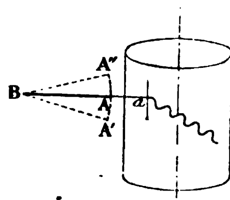


Fig. 65.

Quand on étudie cette ligne, au moyen d'ordonnées qui mesurent les écarts de part et d'autre de la ligne d'équilibre xy, et d'abscisses comptées sur cette ligne xy, qui mesurent les temps écoulés depuis l'origine du mouvement, on voit que cette ligne est une sinussoïde (fig. 66). La lame BA, en effet, partie de A', par exemple, retourne à sa position d'équilibre BA, la dépasse en vertu de sa vitesse acquise, parvient en BA''; là, sa vitesse décroissant devient égale à la réaction, qui la ramène en BA; elle dépasse de nouveau BA, parvient en BA', puis retourne en BA'', exécutant de part et d'autre de BA des vibrations. L'examen de la courbe, qui est une sinussoïde, montre que ces oscillations sont isochrones.



Fig. 66.

La théorie de la lumière, telle qu'on la comprend actuellement, suppose d'abord qu'une matière fluide, inerte et sans pesanteur, ou dont on ne peut apprécier le poids, mais qui est douée d'élas-

ticité, occupe tout l'espace, aussi bien ces étendues immenses, que nous appelons le vide, où sont disséminés les astres, que les interstices les plus étroits des particules élémentaires des corps qui sont à notre portée. C'est ce fluide qu'on appelle l'*éther*.

Quand une particule de matière pondérable devient lumineuse, elle vibre comme la lame dont il vient d'être question, comme les molécules de la surface de l'eau, lorsqu'on les voit agitées par la chute ou le choc d'un corps étranger. Qui n'a pas remarqué ce mouvement vertical d'un petit bateau, qui s'élève et retombe sur lui-même au voisinage d'un bâtiment en marche ? Et l'on a pu remarquer aussi que ce mouvement vertical se propage de proche en proche horizontalement jusqu'aux barques de plus en plus éloignées.

C'est d'un mouvement analogue qu'on suppose l'éther animé, lorsqu'il devient lumineux. Mais, ici, le mouvement irradie dans toutes les directions autour du point ébranlé.

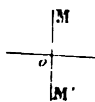


Fig. 67.

Appelons x (fig. 67) la distance variable de la particule d'éther M au point d'équilibre O, t le temps écoulé depuis une époque fixe, v la vitesse, E la force d'élasticité absolue.

La force qui ramène la particule vers son point d'équilibre tend à diminuer x et agit de M vers O, tandis que x est compté positivement de O vers M. Le point O est évidemment un centre de symétrie par rapport aux écarts. On aura $\frac{d^2 x}{dt^2} = - Ex$, en supposant la réaction proportionnelle aux écarts ; c'est ce qu'on admet dans la théorie de l'élasticité, pour de très petites déformations.

Multipliant les deux membres de l'équation précédente par $2dx$, on a : $\frac{2\, d^2 x}{dt^2} dx = - 2\, Exdx$.

Le calcul montre qu'on obtient pour les écarts :

$$x = a \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

et pour les vitesses $v = - a \frac{2\pi}{T} \sin 2\pi \frac{t}{T}$.

x est la distance d'une molécule à son point d'équilibre, qu'elle quitte au temps $t = o$, v la vitesse au temps t. Pendant que cette molécule vibre des deux côtés de la ligne perpendiculaire à MM', sur laquelle se propage le mouvement; pendant que, partie de o elle atteint M, (fig. 67), revient en o, qu'elle dépasse et, parvenue en M', retourne en o, exécutant des deux côtés de ce point une oscillation double, il s'écoule un temps qui est constant et qu'on appelle T dans les formules précédentes. Ces oscillations sont isochromes.

On peut représenter ces équations par des sinussoïdes :

Soit la courbe des écarts $x = a \cos 2\pi \frac{t}{T}$.

Sur les ordonnées parallèles à oX sont comptés les écarts, et sur les abscisses parallèles à oZ sont comptés les temps.

oX étant la ligne des ordonnées, oZ celle des abscisses (fig. 69).

x s'annule pour $t = \frac{2m+1}{4}$ T, aux points d'inflexion des courbes ; x atteint son maximum a alternativement positif et négatif pour $t = m$T, m étant un nombre entier. Deux points d'inflexion voisins sont distants d'une longueur π (demi-circonférence rectifiée). Les vitesses $v = -\frac{a 2\pi}{T} \sin 2\pi \frac{t}{T}$ s'annulent aux sommets des arcs où les écarts atteignent leurs valeurs extrêmes a, aux temps o, $2m \frac{T}{4} = \frac{m}{2}$T; elles atteignent leur maximum positif ou négatif aux points d'inflexion de la courbe des écarts, aux époques $\frac{2m+1}{4}$T, où la molécule vibrante passe par sa position d'équilibre. La sinussoïde des vitesses aurait ses points d'inflexion vis-à-vis des maxima de celle des écarts, et inversement.

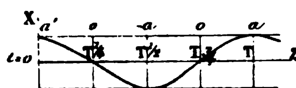


Fig. 68.

Ces courbes représentent les états vibratoires des différents points de la direction de propagation au même instant dans l'espace; mais elles représentent aussi les états vibratoires successifs

6

d'un même point de la ligne de propagation aux différentes époques dans le temps. Car, soit une portion APM de l'ondulation, (fig. 69), PM étant l'écart du point M et o celui du point A au temps t soit V la vitesse de propagation de l'ébranlement, θ le temps que celui-ci met à parcourir la distance AM, on a $AM = V\theta$; au bout du temps θ, le point M a une vitesse $v = o$ et l'écart PM est en M′, à une distance $MM' = AM = V\theta$. M est le point de départ à ce moment d'une courbe identique à la première, qui se transporte en bloc avec le temps sur la direction AA‴ de propagation.

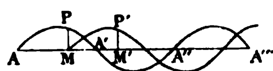


Fig. 69.

Longueur d'onde. — La longueur qui correspond à AA″ représente le chemin parcouru $= VT$ pendant la durée complète de deux oscillations contraires qui ramènent une molécule à son point de départ; c'est ce qu'on appelle la longueur d'onde λ, composée d'une ondulation positive et d'une négative, toutes deux égales à $\frac{\lambda}{2}$ et de durée $\frac{T}{2}$; écrivons :

$$\lambda = VT = AA''.$$

Écart d'une molécule située en un point quelconque. — Posons $PM = x$ et $x = a \cos 2\pi \frac{t}{T}$ l'écart d'une molécule située en M au temps t (fig. 70). Le temps est ici compté à partir de A. Soit une molécule N au même temps t sur AA′ à une distance NM de M, et posons $MN = d$ et $d = V\theta$, θ étant le temps employé par l'ébranlement à franchir MN. Il faudra un temps θ pour que le mouvement de M arrive en N; à ce moment on observera en N le mouvement qui existait en M à une époque antérieure de θ, c'est-à-dire à une époque $(t - \theta)$.

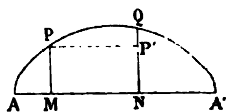


Fig. 70.

L'écart est donc en N égal à $x = a \cos 2\pi \frac{t - \theta}{T}$

et comme on a : $\theta = \frac{d}{V}$, ou, ce qui revient au même, $\frac{\theta}{T} = \frac{d}{VT} = \frac{d}{\lambda}$

on peut écrire : $$x = a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda}\right)$$

Différence de phase. — Si deux rayons superposés présentent l'un l'écart QN correspondant au temps t, l'autre l'écart $P'N = PM$ correspondant au temps $(t - \theta)$ en un même point N de leur direction commune de propagation, on appelle cette quantité θ, leur *différence de phase*. On prend souvent comme différence de phase la quantité d, qui est proportionnelle à θ.

Phénomènes d'interférences. — Soit M un point de l'éther auquel parviennent deux mouvements issus de deux fentes A et B éclairées par une même source lumineuse (fig. 71), les directions de propagation AM, BM étant à peu près parallèles. Posons $AM = d$, $BM = d'$.

A M B

Eig. 71.

En A et B la vitesse d'oscillation est :

$$v_0 = a \sin 2\pi \frac{t}{T}.$$

En M la vitesse d'oscillation v est la somme algébrique $v' + v''$ des vitesses qui s'y manifestent à la fois sur les directions AM et BM.

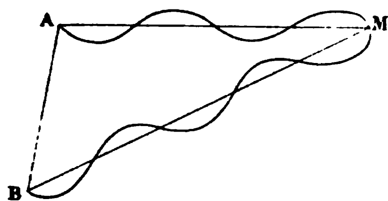


Fig. 72.

Si les vitesses en M diffèrent de $\frac{\lambda}{2}$ et, en général, d'un nombre impair $(2m + 1)$ $\frac{\lambda}{2}$ de demi-longueurs d'onde (m étant un nombre entier), comme on le voit figure 72, elles sont de signes contraires et se détruisent. Si ces vitesses diffèrent,

au contraire, d'un nombre pair $2m\frac{\lambda}{2}$ de demi-longueurs d'onde, elles s'ajoutent.

Dans le premier cas, il y a obscurité, puisqu'au point M la quantité de lumière est nulle. Dans le cas où la différence des vitesses est un nombre pair de $\frac{\lambda}{2}$, l'éclairement est la somme de ceux que donnerait chaque direction AM et BM.

Double réfraction. — Lorsqu'un rayon d'une couleur quelconque traverse une lame, un prisme de verre, un cristal cubique, quelle que soit la forme de ce cristal ou du morceau de verre, il est plus ou moins dévié, mais il reste simple. Mais lorsqu'un rayon de lumière traverse un cristal d'un système autre que le cubique, il est en général décomposé en deux rayons qui se réfractent suivant des lois différentes et donnent lieu au phénomène de la double image (fig. 73).

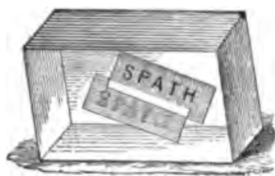


Fig. 73.

Disposons une face d'un rhomboèdre de spath perpendiculairement à un faisceau cylindrique de lumière donnée par une fente circulaire que traversent des rayons réfléchis horizontalement par un héliostat, de manière à ce qu'ils soient parallèles à la section principale du spath, laquelle est ici dans le plan du papier.

Introduisons le spath dans un tube cylindrique opaque fermé aux deux bouts par des disques percés d'ouvertures circulaires assez étroites, et plaçons celles-ci sur la direction du faisceau lumineux, que nous appellerons le rayon RI (fig. 74).

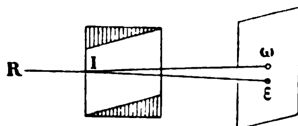


Fig. 74.

Au sortir du spath, ce rayon forme sur un écran deux images de la fente ; c'est ce qu'on appelle le phénomène de la *double réfraction*. Si l'on tourne le cylindre autour de son axe, une des deux

images reste fixe, tandis que l'autre tourne autour d'elle. Nous appellerons *ordinaire* le rayon qui donne l'image constante, *extra-ordinaire* celui qui est un peu dévié et qui change de position.

Les deux rayons réfractés restent dans la section principale et conservent la même intensité, qui est sensiblement la moitié de l'intensité primitive.

Interceptons au moyen d'un écran AB le rayon extraordinaire IQ, et faisons passer l'ordinaire IN au travers d'un second spath S

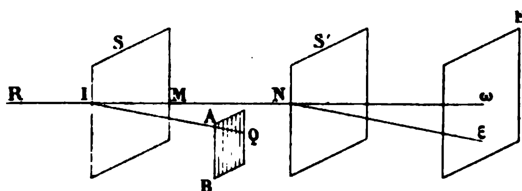


Fig. 75.

enchâssé dans un cylindre, dont nous disposons l'axe sur le prolongement de celui du cylindre précédent (fig. 75); le rayon IN se dédouble aussi dans le spath et donne de nouveau deux images; mais celles-ci manifestent des propriétés remarquables. Si on laisse fixe un des spaths et qu'on fasse tourner le second, par exemple S', autour de l'axe commun RN, on voit que les deux images ω, ε, reçues sur un écran E, ont en général des intensités différentes et qu'elles offrent même tour à tour, deux fois pendant une rotation entière du spath, un éclat maximum ou une extinction complète.

Loi de Malus. — Soit un cercle intérieur représentant la course du rayon ordinaire et un extérieur représentant celle de l'extraordinaire; AA' est la trace de la section principale du spath fixe; CD, celle de la section principale du spath mobile; α, l'angle des deux sections (fig. 76). La loi de Malus est exprimée par les équations:

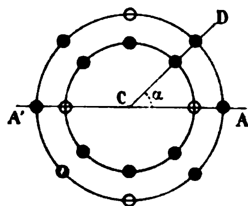


Fig. 76.

$$\omega = \frac{I}{2}\cos^2\alpha \qquad \varepsilon = \frac{I}{2}\sin^2\alpha$$

ω désignant l'intensité du rayon ordinaire ; ε, celle du rayon extraordinaire ; I, celle du rayon naturel primitif.

Rayons polarisés. — Les deux rayons qui se comportent ainsi à l'inverse l'un de l'autre semblent *avoir des côtés* ; on les dit *polarisés*, et, comme les phénomènes d'extinction ou d'intensité maximum qui s'observent dans les directions convenables de l'un se reproduisent chez l'autre dans les directions perpendiculaires aux précédentes, on les dit polarisés à angle droit. Leurs plans de polarisation sont l'un ICA mené par le rayon incident IC et la section principale du spath, l'autre le plan mené par IC et perpendiculaire à cette section.

Quelle est la direction des mouvements vibratoires ou oscillations périodiques de l'éther lumineux? Un mouvement peut toujours être décomposé en ses projections sur trois droites rectangulaires quelconques. Mais, puisque tous les phénomènes d'extinction et de maximum d'éclairement se produisent autour du rayon dans un plan perpendiculaire à sa direction, deux des composantes sont certainement dans ce plan, et la troisième est la normale au même plan, qui est la direction de propagation.

Des vibrations parallèles à cette dernière direction, c'est-à-dire au rayon lumineux, se comporteraient comme si elles n'existaient pas, puisqu'elles ne pourraient subir aucun changement, quelle que fût la position du plan d'incidence, dans le spath. Donc, les vibrations lumineuses sont perpendiculaires à leur direction de propagation.

Lumière polarisée par réflexion. — Un rayon de lumière réfléchie par un miroir de verre sous un angle d'incidence de 54° 35′ présente les mêmes phénomènes de maximums et de minimums d'extinction que les rayons polarisés par un spath. Il reste simple après sa réflexion sur le miroir ; mais il se comporte comme l'un des deux rayons qui ont déjà traversé un premier spath dans l'expérience précédente ; il est polarisé. Si on lui fait traverser un second spath, il se dédouble ; mais les deux rayons s'éteignent ou brillent de leur maximum d'éclat, à 90° l'un de l'autre ; inverse-

sement, si l'on fait tomber sur un miroir de verre noir, sous l'angle de 54° 35′, un des deux rayons polarisés par le premier spath, l'ordinaire, par exemple, on voit que le rayon réfléchi a son maximum d'intensité lorsque le plan d'incidence est parallèle à la section principale du spath, et qu'il s'éteint lorsque le plan d'incidence du miroir et la section principale du spath sont perpendiculaires. L'inverse aurait lieu si l'on faisait tomber sur le miroir le rayon extraordinaire obtenu par le spath.

Loi de Brewster. — Les substances vitreuses en général polarisent ainsi plus ou moins complètement la lumière qu'elles réfléchissent.

On appelle *angle* ou *incidence de polarisation* l'angle d'incidence qui donne la plus grande quantité possible de lumière polarisée. Brewster a découvert cette loi, que la tangente de l'angle de polarisation, désigné par I, est égale à l'indice de réfraction, désigné par n, pour une substance déterminée. $\mathrm{tg}\, I = n$ $I = 54° 35'$ pour le verre.

Principe d'Huyghens. — *Les vibrations d'une onde lumineuse en chacun de ses points peuvent être regardées comme les résultantes des mouvements élémentaires qu'y enverraient au même instant, en agissant isolément, toutes les parties de cette onde considérée dans une quelconque de ses positions antérieures.*

L'activité lumineuse d'une onde élémentaire est empêchée en arrière et sur les côtés par les ondes voisines (fig. 75); elle ne subsiste qu'à son point de contact avec l'enveloppe de toutes les surfaces élémentaires, qu'on appelle *surface d'onde.*

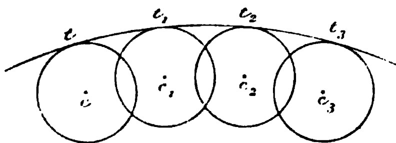


Fig. 77.

Surface d'onde. — Celle-ci est donc l'ensemble des points auxquels parvient au même instant l'activité lumineuse irradiée autour d'un centre d'ébranlement.

Rayon de lumière. — Si on place sur le chemin d'une onde une

fente qui n'en laisse passer qu'une partie, toutes les droites menées du centre d'excitation aux points intérieurs de la fente sont des rayons de lumière, en faisant abstraction des directions trop voisines des bords de la fente, qui produisent les phénomènes de *diffraction.* Si le point lumineux est à l'infini, les rayons qui traversent la fente sont parallèles et la surface d'onde qui leur est perpendiculaire est un *plan.* Les rayons d'une même source sont concordants et propagent des mouvements de même phase.

§ 2. — RÉFLEXION ET RÉFRACTION

Si une onde plane rencontre la surface MN d'un cristal transparent (fig. 78), elle y pénètre au delà de MN en même temps qu'elle revient en deçà sur elle-même, rayonnant en sens contraire.

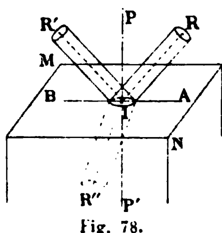


Fig. 78.

Soit un faisceau circulaire dont l'axe RI est dans le plan de la figure, qui contient aussi IP normale à la face MN. PIR est l'angle d'incidence, dont le plan coupe la surface suivant la ligne AB.

RI et R_1F étant les deux rayons extrêmes du faisceau cylindrique incident, EI la trace du plan d'onde, le rayon ER arrive en E lorsque RI touche la surface de séparation de l'air et du cristal AF (fig. 79).

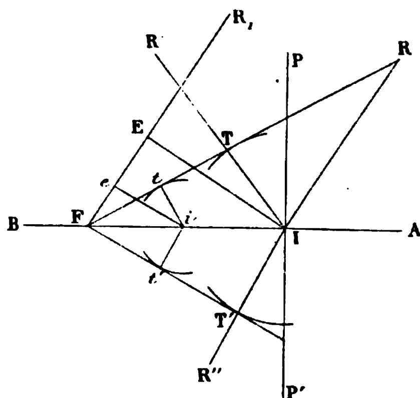


Fig. 79.

1° Le plan d'onde franchit la distance EF qui le sépare de la surface en un temps $\theta = \frac{EF}{V}$, V étant la vitesse de propagation dans l'air. Pendant

ce temps le mouvement parti de I se propage dans l'air, sur une sphère (sur un cercle dans le plan de la figure) dont le centre est en I et dont le rayon $V\theta = EF$. Au temps θ, le mouvement a donc lieu en F et en T sur la sphère de rayon $R = EF$.

Supposons le front de l'onde arrivé en *ei* (parallèle à EI) ; du point *i* on décrit une sphère de rayon *e*F ; l'excitation parvient à la surface de cette sphère, pendant que l'onde franchit la distance *e*F ; le même raisonnement s'appliquant à tous les poiuts de EF, pendant que le mouvement vibratoire se propage de E en F sur la direction EF, les ébranlements existés par tous les points de *i*F résidant sur une série de sphères (de cercles dans le plan de la figure) dont les rayons décroissent depuis la valeur maximum de EF jusqu'à zéro. On a toujours $\frac{eF}{EF} = \frac{iF}{IF} = \frac{\varsigma}{R}$ ς étant le rayon variable des sphères successives; F est donc le centre d'homothétie de ces sphères menées dans le cristal, des cercles à rayons IT, *it* dans le plan de la figure, et l'enveloppe des sphères est leur plan tangent commun mené par le point F, leur tangente commune sur la figure, c'est-à-dire la droite F*t*T.

En vertu du principe d'Hugghens, le plan tangeant est la surface de l'onde refléchie et la normale *i*T en est la direction de propagation; or, on a :

Triangles rectangles, TIF et EFI égaux ; donc, $PIR = PIR'$

$TIF = EFI$; mais, $EFI = PIR$ et $TIF = PIR'$ ou PIT.

Donc les angles d'incidence et de réflexion sont égaux et ils sont dans le même plan.

2° D'autre part, pendant que le rayon R_1F parcourt le chemin EF, une partie de l'excitation produite en *i* se propage dans le milieu, au dessus de AF, autour du point I avec une vitesse V, propre à ce milieu et par suite sur une sphère de rayon, $R' = IT'$, tel que $\frac{R'}{EF} = \frac{V'}{V}$. De tous les points de *i*F devenus centres d'ébranlement, au moment où le front de l'onde parvient aux points correspondants *e* de EF, on décrit de même des sphères de rayon

$\varsigma = e\mathrm{F}\,\frac{\mathrm{V}'}{\mathrm{V}}$ F reste le centre d'homothétie ; l'enveloppe des sphères le plan tangeant mené par F et la normale IT′ au plan tangent est la direction du rayon réfracté.

Or : $\mathrm{EF} = \mathrm{V}\theta = \mathrm{IF} \sin \mathrm{EIF} = \mathrm{IF} \sin \mathrm{PIR} = \mathrm{IF} \sin i$

$\mathrm{IT}' = \mathrm{V}'\theta = \mathrm{IF} \sin \mathrm{IFT}' = \mathrm{IF} \sin \mathrm{T'IP}' = \mathrm{IF} \sin r$

Donc : $\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{V}'} = \frac{\sin i}{\sin r} = n$

L'indice de réfraction est égal au rapport des vitesses de propagation dans l'air et dans le milieu.

§ 3. — INDICES DE RÉFRACTION

Soit ABC la section droite d'un prisme réfringent (fig. 80). A la trace de son arête sur la section ou plan d'incidence, RI le rayon incident, II′ le rayon réfracté dans le prisme, I′E le rayon émergent au sortir de ce prisme ; NA′, PA′, les normales aux faces d'incidence AB et d'émergence AC.

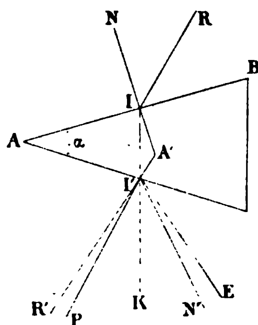


Fig. 80.

Menons R′I′ parallèle à IR et N′I′ à IN.

Posons $\delta = \mathrm{EI'R'}$, angle de déviation du rayon RI.

I′K est le prolongement de II′.

Appelons $i = \mathrm{NIR}$ angle d'incidence, $i' = \mathrm{EI'P}$ angle d'émergence, $r = \mathrm{I'IA'}$ et $r' = \mathrm{II'A'}$.

On a :

$$\mathrm{PI'K} = \mathrm{II'A'} = r' \quad \text{et} \quad \mathrm{N'I'K} = \mathrm{A'II'} = r$$

$$\mathrm{EI'R'} = \delta = \mathrm{EI'K} + \mathrm{KI'R'} = \mathrm{EI'P} - \mathrm{PI'K} + \mathrm{N'I'R'} - \mathrm{KI'N'}$$

$$= i' - r' + i - r$$

ou $$\delta = i + i' - (r + r').$$

Appelons α l'angle A ;

l'angle $\mathrm{A}' = \pi - \mathrm{BAC} = \pi - \alpha = \pi - (\mathrm{A'II'} + \mathrm{A'I'I}) = \pi - (r + r')$

d'où : $r + r' = \alpha$ et $\delta = i + i' - \alpha$

Soit $i = i'$. $\delta = 2i - \alpha$ ou $\delta = 2i' - \alpha$.

Cette déviation est un minimum.

Car, soit $i' > i$ ou $i' = i + \beta$, on a : $\delta = 2i + \beta - \alpha$
et soit $i' < i$ ou $i = i' + \beta$, on a : $\delta = 2i' + \beta - \alpha$

Dans le cas de la déviation minimum, $i = \frac{\alpha + \delta}{2}$ et, comme $r = r'$, $\alpha = 2r$ ou $r = \frac{\alpha}{2}$.

Donc, l'indice de réfraction ;

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

De là découle une méthode simple pour mesurer l'indice de réfraction d'une substance transparente. On y forme un biseau à faces planes faisant entre elles un angle un peu aigu, qui doit être inférieur à l'angle limite (voy. à réflexion totale). Au moyen du goniomètre à réflexion, il est facile de mesurer cet angle α.

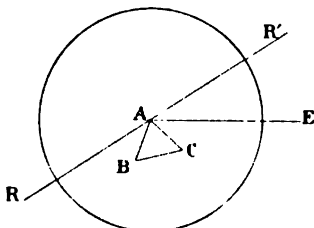


Fig. 81.

On place l'arête A du prisme ABC au centre d'un cercle divisé. Soit RA le rayon incident et R'A son prolongement, EA le rayon réfracté (fig. 81).

L'angle R'AE est la déviation δ. RA' a une direction fixe. On fait tourner le prisme dans un sens et dans l'autre, jusqu'à ce que EAR' atteigne un minimum (on vise EA avec une lunette). On a ainsi δ. Pour effectuer cette mesure, on se sent avec avantage en physique du gonimètre de Babinet; mais cet instrument se prête peu à l'observation des petits éclats, taillés en biseaux, dont les minéralogistes sont obligés de se contenter. On peut recourir alors au goniomètre de Wollaston, modifié par Mallard, décrit plus haut, en y ajoutant le dispositif suivant :

Au lieu de fixer le miroir dans une position invariable, on relie

celui-ci à l'extrémité d'une pièce mobile autour de l'axe du goniomètre, de façon à pouvoir lui donner toutes les inclinaisons possibles, depuis — 60° jusqu'à + 60° sur le plan horizontal. Au moyen d'une vis de pression, qui prend son appui sur un arc de cercle fixé au bâti du goniomètre, on peut fixer le miroir dans telle position qu'on le veut. On opère alors, comme il a été dit plus haut, pour la mesure de l'angle α. Pour mesurer l'indice de réfraction, au moyen d'un prisme installé sur l'appareil, on rend le miroir libre en desserrant la vis de pression qui le relie à l'arc fixe ; mais on le rattache invariablement, au moyen d'une autre vis de pression, au limbe du goniomètre. On fait tourner alors le limbe entraînant le miroir d'une part, le prisme de l'autre, jusqu'à ce que l'image d'une fente lumineuse, horizontale, vue à travers le prisme, étant au minimum de déviation, soit en coïncidence avec l'image de la même fente vue par reflection sur le miroir. Le minimum est atteint, comme on sait, lorsque la déviation, après avoir diminuée, augmente, pendant que l'on continue à tourner le prisme dans le même sens. On fait la lecture.

Il ne reste plus qu'à faire tourner le miroir, jusqu'à ce que l'image réfléchie de la fente vienne en contact avec la fente vue directement. Alors seconde lecture. La différence est la demi-déviation 2 ; car le miroir a tourné d'un angle égal à la moitié de celui qui mesure la rotation de l'image. En réalité, on met en contact avec la fente elle-même, non pas son image, mais celle d'une fente inférieure, parallèle ; on commet ainsi une erreur, mais cette erreur est constante et peut être mesurée une fois pour toutes. (Voy. Mallard, *Bull. soc. fr. de min.*, t. X, p. 235.)

Dispersion. — Les rayons des différentes couleurs dont la superposition produit la lumière blanche n'ont pas la même vitesse de propagation ; aussi se réfractent-ils inégalement. Cauchy a donné une formule très approchée qui exprime la valeur des indices de réfraction des diverses couleurs en fonction de leurs longueurs d'onde λ, A et B étant des constantes spécifiques pour une même substance.

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}.$$

L'indice de réfraction et la déviation diminuent à mesure que la longueur d'onde augmente. Le rouge est moins dévié; il a donc une plus grande longueur d'onde que le violet (fig. 82).

Fig. 82.

On sait que, entre ces lumières extrêmes, il y en a une infinité d'autres, dont les colorations, passant les unes aux autres par des transitions insensibles, ont été rattachées à sept types principaux, qu'on appelle en commençant par la plus déviée ou la plus *réfrangible* : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Coefficient de dispersion. — C'est la différence des indices extrêmes de réfraction correspondant au violet et au rouge; plus cette différence est grande, plus le spectre étale largement ses couleurs. Le diamant est une des substances qui possèdent le plus fort coefficient de dispersion. M. Des Cloizeaux a obtenu : $n = 2{,}4135$ pour les rayons rouges, $2{,}4278$ pour les verts.

Réflexion totale. — Soit le rayon RI (fig. 83) tombant sur la face AB d'un cristal, il y suit la direction E; EQ, le sinus de l'angle de réfraction EIQ, est plus petit que PR, sinus de l'angle d'incidence PIR.

Fig. 83.

On voit que, si EQ augmente dans le cristal, PR augmentera aussi dans l'air; PR atteindra son maximum, qui est le rayon IB du cercle auquel on rapporte les sinus, avant EQ.

Soit *eq* cette valeur limite de sin *r*. Au delà, puisque IB ne peut pas être > 1, le rayon I*e* du cristal n'en peut sortir; il se réfléchit suivant I*e'*, en faisant un angle *e'*IQ = QI*e*. Et puisqu'ici le rayon I*e* ne fournit plus, comme d'habitude dans les milieux transparents, une partie de sa lumière au dehors sous forme de

lumière réfractée, mais se réfléchit complètement dans le cristal, on donne au phénomène le nom de *réflexion totale*. Plus l'indice de réfraction est considérable et plus petit est l'angle limite eIQ à l'intérieur duquel doit se trouver le rayon dans le cristal pour en sortir. Dans le diamant, l'indice de réfraction est très élevé, 2,42 en moyenne; aussi son angle limité n'est-il que de 25° et son éclat est très augmenté par ce fait; les rayons qui pénètrent dans un brillant par la table, au lieu de sortir par le côté opposé, se trouvent réfléchis vers l'observateur.

CHAPITRE III

THÉORIE DE LA DOUBLE RÉFRACTION

On a vu plus haut que, si un rayon de lumière tombe sur un rhomboèdre de spath, il se dédouble en le traversant. Toutes les substances transparentes, cristallisées sous une forme qui n'appartient pas au système cubique, possèdent cette propriété de donner deux images d'un seul objet, de diviser un rayon incident en deux réfractés, ce qui leur fait donner le nom de *biréfringentes*, et au phénomène du dédoublement celui de *double réfraction*.

C'est dans la structure des cristaux qu'il faut chercher la cause de ce dédoublement du rayon primitif ou des mouvements vibratoires qui le constituent, et, inversement, l'étude des lois de la double réfraction dévoile la structure des cristaux. On fait les hypothèses les plus vraisemblables sur cette structure, et l'on vérifie toute la théorie par l'expérience.

Disséminé entre les molécules ou, si on aime mieux, entre les

nœuds du réseau cristallin, l'éther doit posséder la symétrie de ce réseau; les directions des élasticités égales ou d'égales réactions exercées par les molécules d'éther sur l'une d'entre elles qui a quitté sa position d'équilibre sont en connexion intime avec cette symétrie et, par suite, avec la forme cristalline qui en est la manifestation extérieure. Or, on peut mesurer les forces élastiques au moyen des indices de réfraction. Car on sait que, n désignant l'indice de réfraction d'un milieu, v la vitesse de propagation de la lumière dans ce milieu, 1 cette vitesse dans l'air, on a la relation :

$$(1) \qquad n = \frac{1}{v}.$$

La mécanique enseigne en outre que, d représentant la densité, E l'élasticité de l'éther dans la direction transversale ou perpendiculaire à cette propagation,

$$(2) \qquad v = \sqrt{\frac{E}{d}}. \quad \text{D'où} \quad n = \sqrt{\frac{d}{E}} \quad \text{et} \quad E = \frac{d}{n^2}.$$

CRISTAUX A UN AXE OPTIQUE

Nous nous occuperons d'abord des cristaux dont les formes rentrent dans les systèmes quadratiques ou hexagonaux et possèdant un axe de principale symétrie et des axes de symétrie binaire.

Soit un plan parallèle à la base d'un cristal quadratique (fig. 84). Menons dans ce plan deux droites parallèles aux axes cristallographiques. Un écart OM peut être décomposé suivant les axes, donnant des composantes MN, MP.

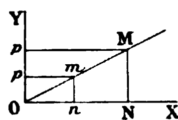


Fig. 84.

Comme les axes ne diffèrent en rien l'un de l'autre, les réactions qu'ils exercent sur les composantes sont égales; elles modifient également les composantes oN, oP, qui deviennent on, op, telles que $on : o\text{N} = op : o\text{P}$, et la réaction résultante om a la même direction que oM. Quelle que soit la direction de oM dans le plan XoY, elle ne change pas après la réaction ; on appelle *axe d'élasticité optique* une direction telle qu'un écart qui la suit la conserve.

Toutes les directions de la base sont des axes d'élasticité optique. Il en est de même de toutes les directions de la base d'un cristal du système hexagonal.

Un écart peut être considéré comme la diagonale d'un parallélogramme dont les côtés sont parallèles aux axes horizontaux; ceux-ci étant égaux modifient également les composantes parallèles aux côtés, et la résultante de ces composantes modifiées garde la direction primitive.

Dans tout autre plan, il n'en est plus de même. Dans un plan parallèle à l'axe quadratique ou à l'axe ternaire, tout change depuis l'axe horizontal jusqu'au vertical (fig. 85). Un écart ayant lieu dans un pareil plan, MNN' par exemple, MN étant l'axe de princi- pale symétrie et oP un axe perpendiculaire, les composantes MP, MN de oM, inégalement modifiées, devenues par exemple op, on, donnent lieu à une réaction om qui n'a généralement pas la même direction que oM et qui varie de grandeur pour un même écart oM depuis oP jusqu'en oN.

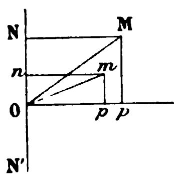


Fig. 85.

Principe de symétrie. — Fresnel, qui a fait des hypothèses de Descartes et des premières conceptions d'Huyghens la théorie la plus complète qu'on ait en physique, a découvert des principes d'une fécondité merveilleuse pour l'investigation de la structure cristalline. Après avoir vu que les différentes directions d'un cristal n'ont pas la même élasticité, il a pensé que la décomposition des mouvements vibratoires qui engendrent la lumière ne devrait s'opérer dans le cristal que suivant des directions déterminées.

Soit RI un rayon lumineux qui se propage dans un cristal et PQ le plan d'onde qui lui est perpendiculaire (fig. 86). La direction de propagation des mouvements vibratoires, c'est-à-dire le rayon RI lui-même, est une ligne de symétrie pour ces mouvements.

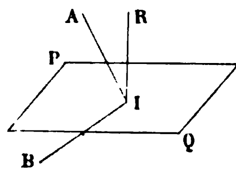


Fig. 86.

D'autre part, AI, l'axe de principale symétrie d'un cristal quadratique ou hexagonal, est une ligne de symétrie pour l'éther en équilibre du cristal. Il est donc logique de regarder le plan AIR comme un élément de symétrie optique, ainsi que la normale à ce plan.

CHAPITRE IV

CRISTAUX A UN AXE

Soit un prisme quadratique. Un rayon RI traverse le prisme (fig. 87); AI est l'axe du prisme. Les vibrations du plan d'onde se décomposent : 1° suivant IB_0 perpendiculaire au plan ARI; 2° suivant l'intersection $I\mu$ du plan d'onde et du plan ARI. Mais la composante $I\mu$ peut être décomposée dans ce plan suivant l'axe principal AI et suivant IB_1 perpendiculaire à cet axe. Ces deux dernières composantes inégalement modifiées donnent lieu à une résultante $I\mu'$ qui n'a plus la même direction que $I\mu$.

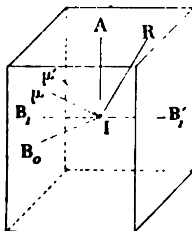


Fig. 87.

Faisons tourner RI dans le plan ARI, la composante IB_0 reste perpendiculaire à ce plan; mais la composante $I\mu'$ tourne aussi avec RI. Or, tout change dans le cristal de IA en IB_1, la vitesse comme l'élasticité. Puisque $n = \frac{v \text{ air}}{v \text{ cristal}}$, l'indice de réfraction n est constant pour les rayons correspondant aux plans d'onde qui déterminent les vibrations constamment perpendiculaires au plan ARI; il varie pour ceux qui correspondent aux plans d'onde formés par les vibrations $I\mu'$.

Donc, soit MN une face quelconque d'un cristal quadratique ou hexagonal, dont l'axe a la direction IA (fig. 88).

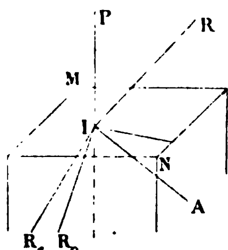


Fig. 88.

Menons en I la normale IP.

Le plan IAP est perpendiculaire à MN ; si le rayon incident RI est dans ce plan, le plan d'incidence RPI se confond avec le plan AIP appelé en optique *section principale* (plan passant par l'axe et mené perpendiculairement à la face considérée qui est ici MN).

Le rayon RI se divise à l'entrée dans le cristal en deux rayons, l'un IR_o perpendiculaire au plan d'onde formé par les vibrations qui restent perpendiculaires à la section principale (vibrations IB_o de la figure précédente), l'autre IR_e normal au plan d'onde que forment les vibrations $I\mu$, qui changent de direction avec RI. Comme tout est symétrique autour de l'axe, quelle que soit la direction du rayon RI, le rayon IR_o obéira toujours aux mêmes lois. Il restera dans le plan d'incidence PIR et sa direction y sera donnée par la relation $n = \frac{\sin i}{\sin r}$, n étant constant ; cela veut dire que, si l'on a déterminé n pour une valeur de i, on connaîtra toujours r au moyen de n, quel que soit i.

Il n'en est pas de même pour IR_e. Tant que RI reste dans le plan de la section principale PIA, les vibrations $I\mu$ contenues dans ce plan donnent naissance à un rayon R_e pour lequel r change avec i autrement que ne l'indiquerait la loi de Descartes, c'est-à-dire qui ne satisfait pas à $n = \frac{\sin i}{\sin r}$, mais qui ne quitte pas le plan d'incidence, plan de symétrie optique. Si le rayon RI n'est pas contenu dans le plan PIA, les vibrations $I\mu$ contenues dans le plan RIA donnent lieu à un rayon que rien ne force à rester dans le plan d'incidence et qui ne satisfait plus ni à l'une ni à l'autre des lois de Descartes.

Rayons lumineux parallèles à l'axe (fig. 89). — Si un rayon lumineux a la direction de l'axe AA′ du cristal, les vibrations du plan d'onde perpendiculaires à AA′ autour duquel tout est optiquement symétrique ne se décomposent pas, et le rayon reste simple. On appelle *axe optique* cette direction où le rayon ne se dédouble pas; on peut dire que les deux rayons ont la même vitesse de propagation.

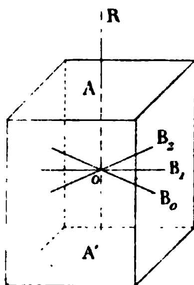


Fig. 89.

Rayons lumineux perpendiculaires à l'axe. — Si un rayon lumineux tombe perpendiculairement sur une face MN parallèle à l'axe AA′ (fig. 89), ses vibrations sont ramenées à la direction de l'axe oA′ et à la direction $o\mathrm{B}_0$ perpendiculaire au plan AoR. Quelle que soit la direction du rayon oI dans le plan perpendiculaire à l'axe AA (fig. 90), on aura toujours une composante perpendiculaire et l'autre parallèle à cet axe; on aura donc deux rayons réfractés de vitesses différentes, mais constantes, se comportant tous les deux comme un rayon ordinaire et, par cela même, superposés dans le cristal; car, l'angle d'incidence i étant nul, l'angle de réfraction est nul aussi pour les deux; si la face d'émergence CD n'est pas parallèle à l'axe comme la face d'entrée, les deux rayons se séparent en R′, puisque, leurs vitesses étant différentes, les angles de réfraction N′R′R′$_e$, N′R′R′$_o$ doivent différer pour une même valeur de IR′N. Ces directions du plan horizontal, qui peuvent être ainsi parcourues par deux rayons réfractés superposés provenant du même rayon incident, sont précisément celles pour lesquelles la réaction élastique ou le mouvement vibratoire produit par un déplacement d'un point de l'éther lumineux est parallèle à ce déplacement.

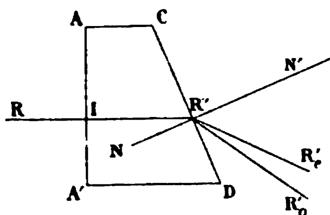


Fig. 90.

§ 1. — SURFACE D'ONDE.

On donne ce nom à la surface formée par l'ensemble des plans où parviennent, après un temps donné T, les mouvements vibratoires irradiés dans toutes les directions d'un point du même milieu au temps zéro, T étant la durée d'une vibration totale.

Or, un des rayons réfractés, l'ordinaire, conserve une vitesse constante, quelle que soit sa direction (fig. 91). Pour celui-ci la surface d'onde est une sphère de rayon $V^o = \frac{1}{n_o}$. Nous savons que l'extraordinaire a une vitesse constante $V_e = \frac{1}{n_e}$ dans le plan perpendiculaire à l'axe. Le plan coupe donc la surface d'onde suivant un cercle de rayon $\frac{1}{n_e}$. Comme enfin, lorsque le rayon incident est parallèle à l'axe, il n'y a plus de double réfraction, le rayon extraordinaire s'y confond avec l'ordinaire; sa surface d'onde sera donc tangente à la sphère aux extrémités du rayon parallèle à l'axe optique.

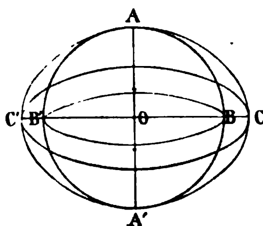


Fig. 91.

Enfin, comme tout est symétrique autour de l'axe, cette surface du rayon extraordinaire doit être de révolution, ayant pour axe polaire ou de rotation le diamètre AA' de la sphère ou axe optique. L'équateur de cette surface à deux nappes la coupe suivant deux cercles ayant pour rayon, l'un $oB = oA$ = vitesse du rayon ordinaire, l'autre oC vitesse du rayon extraordinaire, dont la différence avec la précédente atteint son maximum dans le plan équatorial. Un cristal quadratique possède donc un seul axe optique, direction de réfraction simple, parallèle à son axe de principale symétrie.

Il en est de même de l'axe de principale symétrie des cristaux des systèmes hexagonaux qui est un axe optique unique.

Un calcul simple, qu'on trouvera dans tous les traités d'optique supérieure, montre que la surface d'onde se compose d'une sphère pour le rayon ordinaire et d'un ellipsoïde de révolution pour l'extraordinaire. Suivant chacun des rayons vecteurs de cette double surface cheminent superposés deux rayons lumineux qui ont des vitesses différentes. Dans le plan équatorial seul les deux rayons qui suivent une même direction proviennent du dédoublement d'un même incident. Comme il a été dit plus haut, toutes les directions de ce plan sont des axes d'élasticité optique.

§ 2. — INDICES ORDINAIRE ET EXTRAORDINAIRE.

Le plan équatorial coupe la surface d'onde suivant deux cercles concentriques dont les rayons mesurent les vitesses constantes des deux rayons réfractés superposés, provenant d'un même incident et perpendiculaires à la direction plane parallèle aux deux ondes ordinaire et extraordinaire; donc, les deux rayons réfractés suivent tous les deux les deux lois de Descartes, et vibrent, l'ordinaire normalement, l'extraordinaire parallèlement à l'axe.

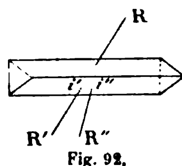


Fig. 92.

Faisons tomber un rayon incident normalement sur la première face d'un angle dièdre assez aigu formé par deux faces du cristal, toutes deux parallèles à son axe optique (fig. 92); de la seconde face sortiront deux rayons réfractés divergents (fig. 93), pour chacun desquels on mesurera facilement l'indice de réfraction par la méthode de la déviation minimum, à l'aide de la formule :

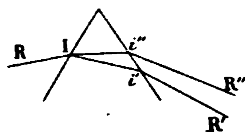


Fig. 93.

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

α désignant l'angle dièdre du prisme, δ l'angle de déviation minimum pour celui des rayons qu'on observe, n l'indice de réfraction correspondant à ce rayon.

§ 3. — INSTRUMENTS DE POLARISATION.

Prisme de Nicol. — Soit un rhomboèdre de spath allongé; aa' son axe principal (fig. 94); on le scie en deux moitiés suivant un plan qui passe par l'axe et par les milieux M, N des arêtes $e'e'$, $e''e''$, perpendiculairement au plan de symétrie cristallographique aea'.

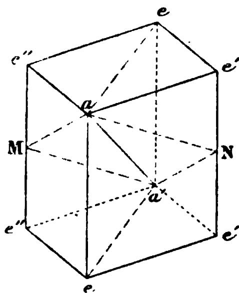


Fig. 94.

On rapproche l'une de l'autre les deux moitiés en les recollant au moyen d'un peu de baume de Canada ou d'une résine transparente à indice de réfraction intermédiaire entre les deux indices de réfraction du calcaire; l'indice du baume de Canada est de 1,549 et son angle limite est 69°27'. Le côté BA' doit être égal à 2,9 fois AB; l'angle ABA' = 89° 17'. Dans ces conditions, si un rayon R', parallèle à BA', tombe sur la face AB (fig. 95) qui représente la section d'un nicol par un plan normal passant par l'axe AA') dans une section principale, il donne en pénétrant dans le cristal deux rayons réfractés; l'un de ces rayons, ordinaire, Io a un indice de réfraction, 1,6761 (pour la raie G); il atteint plus vite l'angle limite que l'extraordinaire, dont l'indice de réfraction n'est que de 1,494 (pour la même raie). L'angle limite du baume de Canada est de 69°27'. Aussi le rayon ordinaire est-il réfléchi totalement, bien que l'extraordinaire traverse le nicol et sorte suivant eR_ε, parallèlement à RI. L'observation montre que les rayons compris dans un cône d'environ 30°, dont la génératrice

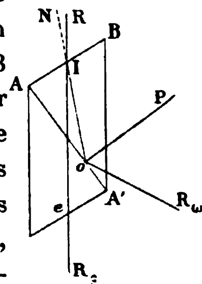


Fig. 95.

fait 15° avec le rayon moyen RI, laissent passer exclusivement la lumière extraordinaire. On a donc un rayon polarisé, dont les vibrations s'effectuent perpendiculairement à I et dans le plan ABB'A'. On peut dire qu'un nicol ne laisse passer que les vibrations contenues dans sa section principale.

Faisons tomber les vibrations sorties d'un premier nicol et contenues dans sa section principale ABA'B' (fig. 96) sur la section principale d'un second nicol *aba'b'* qui croise la première et qui, par conséquent, ne les laisse pas passer, il y a obscurité au point de croisement. Si on fait tourner le second nicol sur lui-même, la lumière réapparait peu à peu et traverse avec toute son intensité, lorsque les deux sections principales sont parallèles.

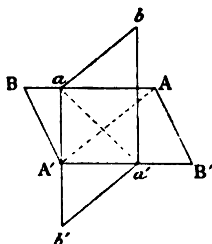


Fig. 96.

Tourmaline. — La tourmaline est une matière qui cristallise en prismes hexagonaux et qui a la propriété, lorsqu'elle est colorée, d'absorber inégalement les mouvements vibratoires qui s'y propagent parallèlement et ceux qui la traversent perpendiculairement à son axe. En lames peu épaisses, une tourmaline de couleur un peu foncée ne laisse passer que les vibrations du rayon extraordinaire contenues dans sa section principale; elle éteint les vibrations du rayon ordinaire. Ce phénomène sera plus complètement étudié au chapitre du *Polychroïsme*. Si on met en croix deux lames de tourmaline à faces parallèles, à leurs axes AA', BB', elles éteignent mutuellement leur lumière comme deux nicols (fig. 97) dont on croise les sections principales. Si les axes des tourmalines sont parallèles, la lumière les traverse avec la coloration qui les caractérise. Souvent on associe une tourmaline brune à une verte, de couleur à peu près complémentaire pour détruire cette coloration qui est souvent gênante pour l'observation.

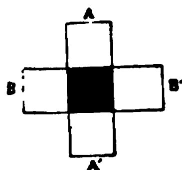


Fig. 97.

Ordinairement, les deux tourmalines sont enchâssées dans des

disques de lièges, et ceux-ci dans des anneaux de laiton. Ces derniers à leur tour sont entourés à frottement doux par les extrémités, façonnées convenablement, d'un fil de laiton un peu fort qui se contourne en 8 (fig. 98). La boucle inférieure, plus petite, se tient avec la main gauche ; celle-ci, en pressant un peu sur les deux branches de la boule supérieure, en rapproche les extrémités, de manière à placer les deux tourmalines en regard l'une de l'autre. Avec la main droite, on fait tourner l'une des tourmalines sur elle-même pour lui donner une position voulue par rapport à la seconde.

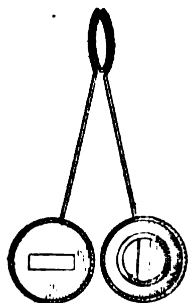


Fig. 98.

Polarisation par réflexion. — Lorsque la lumière naturelle est réfléchie par une lame de verre, elle est en partie polarisée. C'est sous l'angle de 54° 35' que la lumière réfléchie contient la plus grande proportion de cette lumière polarisée qui vibre parallèlement au miroir. Cette proportion augmente si, à une lame de verre unique, on substitue une série de lames superposées, dite *pile de glaces.*

Polariseur. — Soit une tourmaline taillée parallèlement à son axe, qui ne laisse passer que les vibrations parallèles à sa section principale ; on l'appelle *polariseur* à cause de cette polarisation qu'elle exerce sur la lumière incidente.

Analyse d'un mouvement vibratoire. — Supposons maintenant qu'on veuille connaître la direction des mouvements vibratoires d'un rayon polarisé ; soit un mouvement rectiligne, par exemple, d'une direction aa'. Si nous faisons tomber le rayon qui le présente normalement sur une tourmaline (fig. 99) taillée en plaques à faces parallèles à son axe $\alpha\alpha'$, on verra que la tourmaline l'éteint dans la position de la figure ; on en conclut que la vibration étant perpendiculaire à $\alpha\alpha'$ doit avoir la

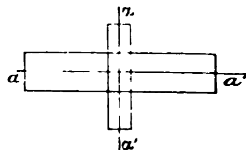


Fig. 99.

direction aa'. Quand on emploie une tourmaline pour analyser les vibrations de la lumière déjà polarisée, on lui donne le nom d'*analyseur*.

§ 4. — DIRECTION DES VIBRATIONS PAR RAPPORT AU PLAN DE POLARISATION.

Un rayon de lumière, polarisé par un miroir, se comporte au travers d'un spath comme ceux qui ont déjà traversé un premier spath. Ses vibrations sont donc perpendiculaires à sa direction de propagation ; mais sont-elles perpendiculaires ou parallèles au plan d'incidence, qu'on appelle *plan de polarisation*?

On doit à M. Wiener la solution de ce problème (1). Supposons qu'on obtienne avec un miroir un large faisceau de lumière polarisée. Le plan de polarisation est celui d'incidence. Faisons tomber ce faisceau sur un second miroir sous l'angle de 45°. Les rayons incidents et réfléchis sont perpendiculaires entre eux. Or, on sait qu'il est possible de faire interférer les ondes incidentes et réfléchies sur le fond d'un tuyau sonore, et que, si l'on promène une membrane dans le tuyau, parallèlement à son axe, celle-ci par ses crépitements met en évidence les nœuds et les ventres qui se produisent à des intervalles périodiquement équidistants du fond du tuyau, les nœuds correspondant aux points où les mouvements des ondes incidentes et réfléchies s'annulent, les ventres aux points où ces mouvements s'ajoutent.

M. Wiener remplace, pour les ondes lumineuses, la membrane exploratrice par une pellicule photographique extrêmement mince, assez transparente pour laisser passer les deux ondes qui se croisent à sa surface, et néanmoins assez sensible pour être impressionnée par les vibrations d'amplitude maximum.

A cause de la petitesse des intervalles qui séparent les plans des nœuds de ceux des ventres, $\frac{1}{10000}$ *mm*, M. Wiener incline très forte-

(1) Note de M. Wiener, présentée par M. Cornu, à l'Académie des sciences, C. R. 26 janvier 1891, t. CXII, p. 186.

ment la pellicule exploratrice. Les vibrations lumineuses photographiques donnent une impression sur les lignes où leurs amplitudes s'ajoutent, et n'altèrent pas la couche sensible sur les lignes nodales où leurs amplitudes s'annulent. Quand on développe la pellicule comme un cliché photographique, on voit apparaître les lignes impressionnées sous la forme de franges.

Cela posé, faisons traverser aux rayons incidents un rhomboèdre de spath, dont la section principale est parallèle au plan d'incidence. De celui-ci sortent deux sortes de vibrations, les unes dans la section principale (rayons extraordinaires), les autres perpendiculaires à cette section (rayons ordinaires). Or, les rayons extraordinaires ne donnent qu'une plage uniforme sur la pellicule; les ordinaires seuls, dans une plage contiguë, montrent des franges ; ceux-ci sont perpendiculaires à la section principale du spath. Or, les rayons réfléchis par le second miroir ont comme les incidents leurs vibrations perpendiculaires à leur direction de propagation, puisque les vibrations de l'onde réfléchie interfèrent avec celles du rayon ordinaires du spath, c'est qu'elles leur sont parallèles, et, comme les ordinaires du spath sont perpendiculaires au plan de polarisation du miroir, d'après la disposition de l'expérience, les vibrations polarisées de l'onde réfléchie sont perpendiculaires au plan de polarisation, c'est-à-dire au plan qui contient les rayons incidents et réfléchis.

CHAPITRE V

CRISTAUX A TROIS AXES INÉGAUX D'ÉLASTICITÉ OPTIQUE

§ 1. — ELLIPSOIDE INVERSE ET AXES D'ÉLASTICITÉ.

Système orthorhombique. — Prenons un cristal de barytine, de topaze, de péridot ou de toute autre substance cristallisée dans

le système orthorhombique; taillons-le en prisme rectangulaire (fig. 100) ayant ses faces et ses arêtes parallèles, les premières aux trois plans de symétrie, les secondes aux trois axes de symétrie binaire, qui caractérisent le système orthorhombique.

Fig. 100.

Soit maintenant deux tourmalines ayant leurs axes AA′ et aa' croisés (fig. 101).

Si des rayons de lumière parallèles entre eux et perpendiculaires à la première lame de tourmaline la traversent, ils en sortent polarisés en rayons également parallèles qui vibrent parallèlement à AA′; lorsque ces rayons tombent sur la seconde tourmaline, leurs vibrations perpendiculaires à l'axe aa' de cette dernière sont éteintes : il y a obscurité.

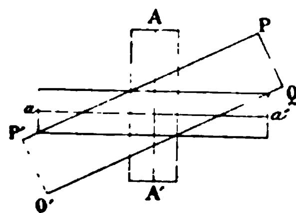


Fig. 101.

Plaçons maintenant entre les deux lames de tourmaline notre prisme rectangulaire de péridot ou de topaze de manière qu'une de ses faces PQP′Q′, par exemple, soit parallèle à ces deux lames.

Si les arêtes PP′, QQ′ ont une position quelconque par rapport à AA′, l'obscurité est dissipée; mais, si on fait tourner la face PP′QQ′ de façon à ce que ses arêtes PP′, QQ′ deviennent parallèles à l'un des axes AA′, aa' des tourmalines, l'obscurité est rétablie.

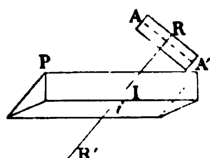


Fig. 102.

Taillons maintenant dans un cristal de la même substance un prisme (fig. 102) qui ait son arête réfringente parallèle à la direction PP′, et orientons le prisme de manière que, placée entre les deux tourmalines, cette arête soit parallèle à l'un des axes, AA′, par exemple, de ces deux tourmalines. Un rayon RI sorti de la

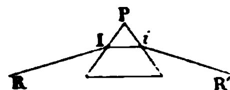


Fig. 103.

première tourmaline a ses vibrations parallèles à AA' et à l'arête du prisme projetée en P (fig. 103). Ce rayon se réfracte au sortir du prisme suivant *i*R' : 1° il reste simple, quelle que soit sa direction dans le plan normal à PP'; 2° il suit les deux lois de la réfraction, en sorte que l'indice de réfraction est constant, $\frac{\sin i}{\sin r} = n$; 3° la vibration PP', sortie suivant PP', garde sa direction lorsqu'elle est parallèle à l'axe de symétrie binaire *oz*.

On peut répéter la même expérience sur les deux faces MNPQ, MPM'P'; les indices de réfraction changent d'une direction axiale à l'autre; ils restent constants pour un même axe, tant que le rayon incident reste perpendiculaire et que la vibration de ce rayon reste parallèle à la direction de l'axe considéré.

On appelle *axes d'élasticité optique* ces trois directions rectangulaires entre elles, qui exercent sur les vibrations ou déplacements de l'éther lumineux *des réactions parallèles à ces déplacements.*

On appelle *indices de réfraction principaux* les trois indices constants qui correspondent aux trois axes d'élasticité optique.

Théorie de Fresnel. — Soit dans un cristal orthorhombique *ox*, *oy*, *oz*, ces trois axes d'élasticité; $oM = \delta$, un déplacement d'une molécule d'éther (fig. 104); les molécules voisines tendent à ramener la molécule M à sa position d'équilibre, en *o*; la résultante de ces forces intérieures peut avoir une direction quelconque *o*R faisant avec *o*M un angle R*o*M; posons R*o*M $= \varepsilon$. Appelons α, β, γ les angles que *o*M fait avec les axes, et λ, μ, ν, les angles de *o*R avec les mêmes axes.

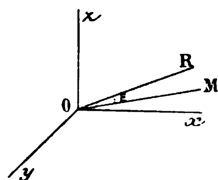


Fig. 104.

x, y, z étant les coordonnées de M, on a :

$$x = \delta \cos \alpha \qquad y = \delta \cos \beta \qquad z = \delta \cos \gamma$$

On démontre, en mécanique, qu'un très petit déplacement δ équivaut à ses projections sur trois axes rectangulaires. Les trois axes

exercent sur les composantes qui leur sont parallèles des réactions qu'on peut exprimer par a^2 pour l'axe des x, b^2 pour celui des y, c^2 pour celui des z.

Les forces élastiques suivant les axes seront donc :

$$x' = -a^2 \delta \cos \alpha \qquad y' = -b^2 \delta \cos \beta \qquad z' = -c^2 \delta \cos \gamma$$

On admet que ce sont les composantes de la réaction élastique oR. Posons $oR = \rho$.

oR a pour composantes suivant les axes :

$$x' = \rho \cos \lambda \qquad y' = \rho \cos \mu \qquad z' = \rho \cos \nu$$

On a donc :

$$\rho \cos \lambda = -a^2 \delta \cos \alpha ; \qquad \rho \cos \mu = -b^2 \delta \cos \beta ;$$
$$\rho \cos \nu = -c^2 \delta \cos \gamma$$

On peut écrire :

$$\rho \cos \alpha \cos \lambda = -\delta a^2 \cos^2 \alpha ; \ \rho \cos \beta \cos \mu = -\delta b^2 \cos^2 \beta$$
$$\rho \cos \gamma \cos \nu = -\delta c^2 \cos^2 \gamma$$

et $$\rho (\cos \alpha \cos \lambda + \cos \beta \cos \mu + \cos \gamma \cos \nu)$$
$$= -\delta (a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \cos^2 \beta + c^2 \cos^2 \gamma)$$

(1) $$\rho \cos \varepsilon = -\delta (a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \cos^2 \beta + c^2 \cos^2 \gamma)$$

Multipliant par $(-\delta)$:

$$-\delta\rho \cos \varepsilon = \delta^2 (a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \cos^2 \beta + c^2 \cos^2 \gamma)$$

Posons $-\delta \cos \varepsilon = q$; c'est la réaction ou force élastique parallèlement au déplacement ; c'est ce qu'on appelle la *composante efficace* du mouvement lumineux.

Cherchons la surface pour laquelle $q\rho$ garde une valeur constante.

$$q\rho = 1 = \delta^2 (a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \cos^2 \beta + c^2 \cos^2 \gamma)$$

or $$\delta \cos \alpha = x \qquad \delta \cos \beta = y \qquad \delta \cos \gamma = z$$

(2) $$a^2x^2 + b^2y^2 + c^2z^2 = 1$$

La surface est donc un ellipsoïde dont les axes sont $\frac{1}{a}, \frac{1}{b}, \frac{1}{c}$.

On l'appelle *ellipsoïde d'égal travail élastique*, car $-\rho\delta\cos\varepsilon$ est le produit de la force élastique ρ d'une certaine direction par le déplacement $\delta\cos\varepsilon$ estimé sur cette direction.

On sait qu'en appelant V_x, V_y, V_z les vitesses de propagation suivant les trois axes ox, oy, oz; a^2, b^2, c^2, les forces élastiques parallèles à ces axes, d la densité de l'éther, on a :

$$V_x = \sqrt{\frac{a^2}{d}} \qquad V_y = \sqrt{\frac{b^2}{d}} \qquad V_z = \sqrt{\frac{c^2}{d}}$$

L'équation (2) peut s'écrire :

$$(3) \qquad V_x^2 x^2 + V_y^2 y^2 + V_z^2 z^2 = \frac{1}{d}.$$

L'ellipsoïde a donc ses axes inversement proportionnels aux vitesses de propagation des plans d'onde perpendiculaires. C'est pourquoi on appelle ordinairement cette surface : *ellipsoïde inverse des vitesses*.

Dans les cristaux orthorhombiques, les axes de l'ellipsoïde sont parallèles à ceux de symétrie binaire, aux intersections des trois plans de symétrie cristalline.

Système clinorhombique. — Dans les cristaux clinorhombiques, il y a encore trois directions rectangulaires pour lesquelles les réactions élastiques sont parallèles aux déplacements qui suivent eux-mêmes leurs directions; l'un de ces axes d'élasticité optique est encore l'axe de symétrie cristallographique, unique dans ce système, et les deux autres axes sont dans le plan de symétrie; leur position n'est liée par aucune loi connue aux intersections de ce plan avec les faces que le cristal peut présenter.

Dans les cristaux du système asymétrique, on retrouve encore trois axes d'élasticité optique; mais on ne peut prévoir dans un cristal de ce système la position d'aucun d'eux; on ne les trouve que par tâtonnements.

Ellipsoïdes des diverses lumières. — Ces trois axes d'élasticité sont les axes de l'ellipsoïde inverse des vitesses.

A chaque couleur correspond un ellipsoïde inverse.

Dans le système orthorhombique, les surfaces ont des axes de même direction, quelle que soit la couleur; dans le système clinorhombique, l'axe de symétrie est la seule direction commune aux différentes couleurs, les deux autres ayant dans le plan de symétrie des orientations variables suivant leurs couleurs. Enfin, dans le système asymétrique, les ellipsoïdes ont leurs trois axes d'élasticité différents au double point de vue de la grandeur et de la direction pour toutes les couleurs.

§ 2. — SURFACE DE L'ONDE ET AXES OPTIQUES

Surface de l'onde. — Puisque, d'après les principes posés par Fresnel, la vibration ne peut avoir lieu dans chaque section centrale que dans la direction de ses axes, l'ellipsoïde inverse des vitesses permet d'obtenir la surface d'onde, ensemble de deux surfaces auxquelles parvient après l'unité de temps la lumière qui se propage dans tous les sens autour d'un point d'une substance cristalline d'où part l'ébranlement.

Il suffit d'élever les normales à toutes les sections de l'ellipsoïde inverse des vitesses; on prend sur chaque normale, à partir du centre, des longueurs inverses des axes de la section perpendiculaire; par les extrémités de ces longueurs on mène des plans parallèles à toutes ces sections; la surface d'onde est l'enveloppe de toutes ces ondes planes; l'équation en a été calculée par M. Bertrand dans son *Traité des enveloppes*, discutée par M. Mannheim (voir la *Géométrie* de MM. Rouché et de Comberousse).

Le rayon lumineux, ou le chemin éclairé par un plan d'onde, étant le rayon vecteur qui joint le centre aux points de contact des plans tangents à la surface menés parallèlement au plan d'onde, pour chaque plan d'onde il y a deux rayons qui suivent la même route et, par conséquent, deux plans d'onde parallèles transportés avec des vitesses inverses des axes de la section centrale qui leur est parallèle.

La surface d'onde est du 4e degré : elle a pour équation :

$$\frac{a^2x^2}{x^2+y^2+z^2-a^2}+\frac{b^2y^2}{x^2+y^2+z^2-b^2}+\frac{c^2z^2}{x^2+y^2+z^2-c^2}=0$$

Elle a les mêmes plans principaux et les mêmes axes que l'ellipsoïde qui sert à la construire. A chaque couleur (ou à chaque λ) correspondent, pour la même espèce cristallisée, un ellipsoïde inverse et sa surface d'onde.

En général, le rayon vecteur ou lumineux est oblique au plan tangent ou plan d'onde correspondant; il n'est perpendiculaire à ce plan que lorsqu'il a la direction d'un des trois axes *o*X, *o*Y, *o*Z.

On peut construire facilement les intersections de la surface d'onde par les sections principales.

Admettons que l'on ait $a > b > c$.

Si dans l'équation de la surface d'onde on pose successivement X = o, Y = o, Z = o, on obtient ses intersections avec les trois plans principaux, qui se composent pour chaque plan d'un cercle et d'une ellipse.

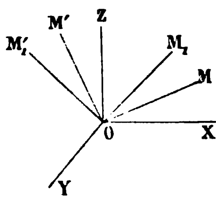


Fig. 105.

Soit un rayon *o*M dans le plan Z*o*X, celui du papier (fig. 105). Ses vibrations se trouvent ramenées à deux directions : 1° celle de *o*Y, normale à Z*o*X et constante, quelle que soit la position de *o*M dans le plan Z*o*X ; 2° celle de *o*M', normale à *o*M dans le plan Z*o*X, laquelle tourne avec *o*M dans ce plan.

A la première direction correspond une vitesse de propagation constante, qu'on peut représenter par un cercle; le rayon lumineux qu'elle engendre se comporte comme un rayon ordinaire. A la seconde direction correspondent des vitesses variables, qui atteignent deux valeurs extrêmes : l'une, alors que le rayon lumineux *o*M est parallèle à *o*X, valeur minimum, puisque la vibration est alors parallèle à *o*Z, axe de plus petite élasticité c ; l'autre, alors que le rayon est parallèle à *o*Z, valeur maximum, puisque

la vibration est devenue parallèle à oX, l'axe de plus grande élasticité a. Les vitesses sont données par une ellipse, dont le petit axe est parallèle à oX et le grand à oZ. Le rayon du cercle parallèle au rayon ordinaire a la valeur moyenne b.

Sur les trois axes, oX, oY, oZ, prenons des longueurs a, b, c. Dans le plan ZoX, l'ellipse coupe le cercle; dans le plan ZoY, le cercle est intérieur; dans le plan YoX, il est extérieur.

Axes optiques. — Le plan ZoX est celui qui nous intéresse spécialement. Les deux courbes y présentent une tangente commune Tt (fig. 106). Le point de contact T jouit de cette propriété, qu'un faisceau de lumière très délié TO ayant cette direction s'épanouit en cône dans le cristal et se rassemble à la sortie sous la forme d'un cylindre creux. Ces axes i, i' sont ceux qu'on appelle de réfraction cylindrique extérieure ou conique intérieure; ce sont les axes optiques des cristallographes; ceux de Fresnel ont une direction différente, quoique très voisine. Reportons-nous à l'ellipsoïde inverse des vitesses.

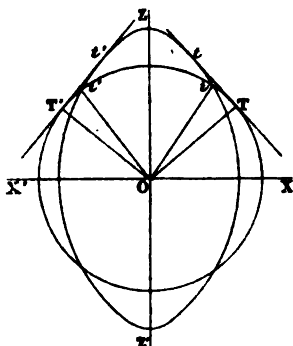


Fig. 106.

Sections circulaires. — Tout ellipsoïde a deux sections circulaires, qui sont perpendiculaires au plan des axes extrêmes et dont le rayon est égal à l'axe moyen. Les deux sections circulaires de l'ellipsoïde inverse des vitesses sont parallèles au plan qui est tangent à la fois en T et t à la surface d'onde. Si un rayon lumineux a dans le cristal une direction normale à l'une des sections circulaires, telles que OT, ses vibrations s'effectuant suivant les rayons d'un cercle ne se décomposent pas et la direction OT que suivent deux rayons qui ont la même vitesse se comporte comme l'axe optique des cristaux quadratiques et hexagonaux; ce sont deux axes optiques situés symétriquement à droite et à gauche des axes d'élasticité maxima et minima, dans le plan des ZX.

3. — DIFFÉRENCE DE PHASE DES RAYONS RÉFRACTÉS PROVENANT D'UN MÊME INCIDENT.

Soit une direction II' d'une lame cristalline parcourue par un rayon réfracté provenant de l'incident RI (fig. 108). Le second rayon réfracté est tellement voisin du premier qu'on peut le regarder comme lui étant rigoureusement parallèle, en sorte que la direction RI devient la route commune des deux rayons dans lesquels le cristal dédouble le primitif. Ces deux rayons, partis ensemble de I, n'arrivent pas ensemble en I', car ils ont des vitesses de propagation différentes, et ces différences de vitesses ne sont pas négligeables comme celles des angles que ces rayons font avec la normale PP' à la face AB du cristal. Si la face A'B' de sortie est parallèle à AB, les deux rayons cheminent encore côte à côte dans l'air où ils redeviennent parallèles à IR. Ils parcourent II', l'un avec une vitesse V_o et dans le temps $t_o = \frac{II'}{V_o}$. Or, $II' = \frac{h}{\cos r}$, en appelant h l'épaisseur IP' du cristal, r l'angle I'IP'. Donc, ce premier rayon met un temps $t_o = \frac{h}{\cos r\, V_o}$. Le second met un temps $t_e = \frac{h}{\cos r\, V_e}$. La différence θ de ces temps est donc $= \frac{1}{\cos r}\left(\frac{1}{V_o - V_e}\right)$, et la différence de phase des rayons est pour $t_o - t_e = \theta$:

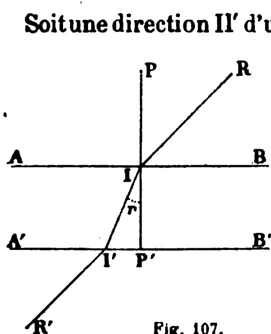


Fig. 107.

$$\frac{\theta}{T} = \frac{h}{T \cos r}\left(\frac{1}{V_o} - \frac{1}{V_e}\right) \quad \text{ou comme } \lambda = VT \quad \text{et} \quad T = \frac{\lambda}{V}$$

$$\frac{\theta}{T} = \frac{h}{\lambda \cos r}\left(\frac{V}{V_o} - \frac{V}{V_e}\right) = \frac{h}{\lambda \cos r}(n_o - n_e),$$

V étant la vitesse de propagation dans l'air et n_o, n_e les deux indices de réfraction propres à la direction II'.

Polarisation elliptique. — On pose d'habitude égale à φ cette différence de phase.

$$\varphi = \frac{h}{\lambda \cos r}(n_o - n_e) .$$

Soient, fig....., X*o*, Y*o* les directions suivant lesquelles se décompose un mouvement vibratoire *o*M dans un milieu cristallin, ω l'angle M*o*X, μ l'écart *o*M d'une molécule M au temps T à l'entrée du rayon de lumière dans la lame.

Y*o*X est la surface de cette lame.

$$(1) \quad \mu = a \cos^2 \pi \frac{t}{T} .$$

Les composantes suivant X*o* et Y*o* sont :

$$(2) \quad x = x \cos 2\pi \frac{t}{T} \cos \omega \qquad y = x \cos 2\pi \frac{t}{T} \sin \omega .$$

Elles donnent naissance à deux rayons qui sortent de la lame avec une différence de phase φ; on a donc en I', à un moment donné t :

$$(3) \quad x = a \cos \omega \cos 2\pi \frac{t}{T} \qquad y = a \sin \omega \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \varphi\right)$$

$$\text{et posant} \quad a \sin \omega = q, \qquad a \cos \omega = p,$$

$$y = q \cos 2\pi \frac{t}{T} \cos 2\pi\varphi + q \sin 2\pi \frac{t}{T} \sin 2\pi\varphi$$

$$y - q \cos 2\pi \frac{t}{T} \cos 2\pi\varphi = q \sin 2\pi \frac{t}{T} \sin 2\pi\varphi$$

$$\text{et, comme} \qquad \cos 2\pi \frac{t}{T} = \frac{x}{p}$$

$$y - \frac{x}{p} q \cos 2\pi\varphi = q \sqrt{1 - \frac{x^2}{p^2}} \sin 2\pi\varphi$$

Élevons au carré :

$$y^2 + \frac{x^2}{p^2} q^2 \cos^2 2\pi\varphi - 2xy\frac{q}{p}\cos 2\pi\varphi = q^2 \sin^2 2\pi\varphi$$

$$- \frac{q^2 x^2}{p^2}\sin^2 2\pi\varphi$$

$$y^2 + \frac{x^2 q^2}{p^2} - 2xy\frac{q}{p}\cos 2\pi\varphi = q^2 \sin^2 2\pi\varphi .$$

Réduisons au même dénominateur :

$$py^2 + x^2 q^2 - 2xypq\cos 2\pi\varphi = q^2 p^2 \sin^2 2\pi\varphi .$$

Divisons par p^2q^2 :

$$\frac{x^2}{p^2} + \frac{y^2}{q^2} - \frac{2xy}{pq}\cos 2\pi\varphi = \sin^2 2\pi\varphi \quad (4)$$

$$\frac{x^2}{a^2\cos^2\omega} + \frac{y^2}{a^2\sin^2\omega} = \frac{2\cos 2\pi\varphi\, x\, y}{a^2\sin\omega\cos\omega} = \sin^2 2\pi\varphi$$

équation d'une ellipse rapportée à son centre et indépendante du temps que nous avons éliminé.

L'orientation de l'ellipse dépend de ω et de φ.

Le mouvement consiste en vibrations elliptiques se propageant sur une droite normale à leur plan (1).

Rejet de la lumière naturelle. — Elle consiste en mouvements de ce genre, mais dont les axes varient à chaque instant en grandeur et en direction. Lorsqu'elle a traversé une lame cristalline, elle se reconstitue à l'émergence en un ensemble de vibrations elliptiques d'orientations et de formes différentes.

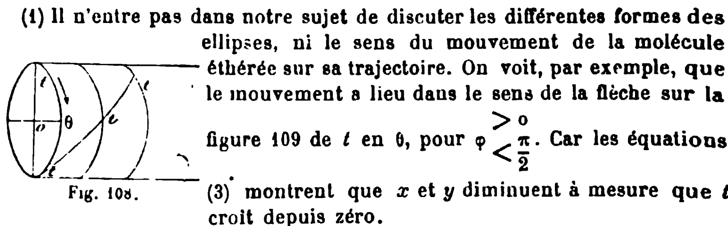


Fig. 108.

(1) Il n'entre pas dans notre sujet de discuter les différentes formes des ellipses, ni le sens du mouvement de la molécule éthérée sur sa trajectoire. On voit, par exemple, que le mouvement a lieu dans le sens de la flèche sur la figure 109 de t en θ, pour $\varphi \gtrless \frac{\pi}{2}$. Car les équations (3) montrent que x et y diminuent à mesure que t croît depuis zéro.

Emploi de la lumière polarisée. — Mais, si on fait traverser une lame cristalline par un rayon sorti déjà d'un polariseur, c'est-à-dire à vibrations rectilignes et parallèles, les vibrations, au sortir de la lame cristalline, décrivent des ellipses semblables et de même orientation.

Rayons polarisés à angle droit. — Ce qui précède montre qu'ils ne peuvent pas interférer, puisque des vibrations rectangulaires donnent naissance à des trajectoires elliptiques, comprenant les circulaires (dans le cas de $\varphi = \frac{\pi}{4}$ et $\omega = 45°$) et les rectilignes (dans le cas de $\varphi = 0$.)

§ 4. — CARACTÈRES PRATIQUES DES AXES D'ÉLASTICITÉ, DES LIGNES D'EXTINCTION.

1° **Axes d'élasticité.** — Nous n'avons qu'à répéter ce qui a été dit plus haut; taillons dans un cristal de l'un des trois systèmes orthorhombique, monoclinique ou asymétrique, une plaque à faces parallèles à oX, oZ (fig. 110), deux de ses axes d'élasticité, par exemple à l'une des sections principales ou plans de symétrie d'un cristal orthorhombique, et faisons tomber sur cette plaque un faisceau normal de rayons polarisés par une tourmaline parallèle, d'où ils sortent vibrant suivant une direction quelconque oM du plan ZoX.

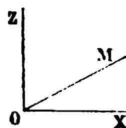


Fig. 109.

Si nous recevons le faisceau qui a traversé la plaque sur une seconde tourmaline (analyseur) ayant ses faces parallèles et son axe perpendiculaire à oM que nous supposons dans la direction de l'axe de la première, nous voyons l'obscurité dissipée au point de croisement des deux tourmalines; mais, si nous faisons tourner la plaque sur elle-même, l'obscurité se rétablit, lorsque l'un des axes d'élasticité devient parallèle ou perpendiculaire à l'une des tourmalines.

Lorsque l'obscurité se dissipe, la vibration oM se décompose en deux, parallèles chacune à l'un des axes oX, oZ, en sorte que, si

la tourmaline analyseur éteint la composante qui lui est perpendiculaire, elle laisse passer celle qui lui est parallèle; mais, lorsque la vibration *o*M devient parallèle à l'un des axes, elle ne peut plus se décomposer; l'obscurité persiste.

Lignes d'extinction. — Interposons entre un analyseur et un polariseur croisés une plaque mince à faces parallèles à une direction quelconque, l'obscurité est en général dissipée; mais, lorsqu'on tourne la plaque sur elle-même, on voit la lumière éteinte pour quatre positions rectangulaires pendant une rotation de 360°. Soit en effet *aba'b'* (fig. 111) une section elliptique centrale, et *ab*, *a'b'* les axes de cette section. Soit un rayon polarisé ayant *aba'b'* pour plan d'onde et vibrant suivant *oa'*. Le déplacement donnera lieu à une réaction, qui aura une direction différente de *oa'*, mais qui restera dans le plan mené par *oa'* et par la normale à la section, car le plan P*oa'* est un plan de symétrie pour l'ellipsoïde. Or, une vibration contenue dans ce plan y fournit deux composantes, parallèles, l'une à *oa'*, l'autre à *o*P. Celle-ci est négligeable optiquement; donc, *oa'* se comporte comme un axe d'élasticité; si la vibration *o*M n'est pas contenu dans le plan *ao*P (ou dans le plan *bo*P), elle donne une composante perpendiculaire à ce plan et une contenue dans le plan; la lumière reparaît; mais la rotation de la plaque ramène un des axes *aa'*, *bb'* en face d'une des sections principales de l'analyseur ou du polariseur, et l'obscurité est rétablie.

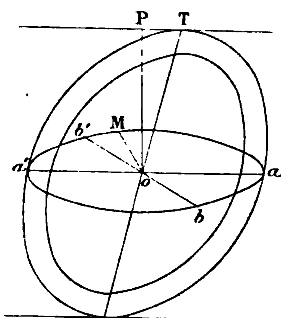


Fig. 110.

Quant au rayon de lumière, c'est la ligne *o*T joignant les points de contact successifs des plans d'onde parallèles et des ellipsoïdes semblables, route éclairée, c'est-à-dire suivie par l'activité lumineuse.

CHAPITRE VI

POLARISATION CHROMATIQUE.

§ 1. — ÉTABLISSEMENT DE LA FORMULE.

On comprend sous le nom de polarisation chromatique toutes les belles colorations produites par les interférences, c'est-à-dire par les actions que les vibrations lumineuses polarisées exercent les unes sur les autres.

On vient de voir que, si un faisceau de rayons polarisés par une tourmaline ou un nicol traverse une lame cristalline, les rayons effectuent, au sortir de cette lame, des vibrations elliptiques, résultant de la combinaison des vibrations rectilignes des rayons réfractés qui proviennent du dédoublement de chacun des rayons du faisceau primitif. Les vibrations, dans ce cas, ne peuvent être que : elliptiques, circulaires ou rectilignes; mais, si, au sortir de la lame cristalline, les rayons tombent sur un analyseur, nicol, tourmaline, ils se dédoublent de nouveau. Chacune des vibrations composantes du mouvement elliptique donne une composante à la section principale et une à la normale à cette section de l'analyseur. Les deux composantes normales sont éteintes; mais les deux parallèles à la section proviennent de rayons qui ont acquis des différences de phase en traversant la lame cristalline; elles se trouvent donc dans les conditions où elles peuvent interférer.

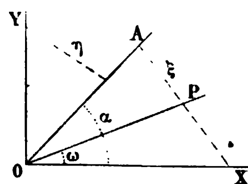


Fig. 111.

Soit une lame cristalline ayant oX et oY pour axes d'élasticité, oP la trace d'un polariseur sur cette section (fig. 112); un rayon de lumière polarisé par oP vibrant dans la section principale du polariseur se divise, dans cette lame, en deux rayons, qu'on peut regarder

comme superposés et qui ont à l'émergence une différence de phase :

$$\varphi = \frac{h}{\lambda \cos r}(n_e - n_o).$$

Appelons x, y. les vibrations de ces rayons qui donnent pour résultante un mouvement elliptique, et recevons le double rayon réfracté correspondant sur un analyseur ayant oA pour trace sur le plan de la lame ; l'angle du polariseur et de l'axe ox de la lame est PoX. Posons $PoX = \omega$.

L'angle de l'analyseur et du même axe est AoX, et nous posons $AoX = \alpha$.

On a vu que les composantes au sortir de la lame sont :

$$(1) \quad x = a \cos 2\pi \frac{t}{T} \cos \omega \qquad y = a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \varphi\right) \sin \omega$$

x donne à oA une composante $\xi = x \cos \alpha$ parallèle à la section principale et une perpendiculaire ; y donne à oA une composante $\eta = y \sin \alpha$ parallèle à sa section principale et une perpendiculaire à cette section. Nous n'avons pas à nous occuper des perpendiculaires qui sont éteintes ; les parallèles donnent une résultante, qui est leur somme algébrique $\xi + \eta$.

$$(2) \qquad \xi + \eta = x \cos \alpha + y \sin \alpha$$

et remplaçant x et y par leurs valeurs :

$$\eta + \xi = a \cos \alpha \cos \omega \cos 2\pi \frac{t}{T} + a \sin \alpha \sin \omega \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \varphi\right)$$

$$= a \cos 2\pi \frac{t}{T} (\cos \alpha \cos \omega + \sin \alpha \sin \omega \cos 2\pi\varphi)$$

$$+ a \sin 2\pi \frac{t}{T} \sin \alpha \sin \omega \sin 2\pi\varphi .$$

Posons avec Fresnel :

$$a (\cos \alpha \cos \omega + \sin \alpha \sin \omega \cos 2\pi\varphi) = E \cos \Delta$$

$$a \sin \alpha \sin \omega \sin 2\pi\varphi = E \sin \Delta$$

$$(3) \quad \eta + \xi = \cos 2\pi \frac{t}{T} \cos \Delta + \sin 2\pi \frac{t}{T} \sin \Delta = \cos\left(2\pi \frac{t}{T} - \Delta\right)$$

Cette relation montre que l'amplitude de la vibration est E, si on la compare à $x = a \cos 2\pi \frac{t}{T}$.

On a :

$$E^2 (\cos^2\Delta + \sin^2 \Delta) = E^2 = \begin{cases} a^2 (\cos \alpha \cos \omega + \sin \alpha \sin \omega \cos 2\pi\varphi) \\ \quad + a^2 \sin^2 \alpha \sin^2 \omega \sin^2 2\pi\varphi \end{cases}$$

$$\frac{E^2}{a^2} = \cos^2 \alpha \cos^2 \omega + \sin^2 \alpha \sin^2 \omega \cos^2 2\pi\varphi$$

$$+ 2 \cos \alpha \cos \omega \sin \alpha \sin \omega \cos 2\pi\varphi + \sin^2 \alpha \sin^2 \omega \sin^2 2\pi\varphi$$

$$= \cos^2 \alpha \cos^2 \omega + \sin^2 \alpha \sin^2 \omega + 2 \sin \alpha \sin \omega \cos \alpha \cos \omega$$

$$- 4 \sin \alpha \sin \omega \cos \alpha \cos \omega \sin^2 \pi\varphi$$

en remplaçant $\cos 2\pi\varphi$ par $1 - 2\sin^2 \pi\varphi$

$$\frac{E^2}{a^2} = (\cos \alpha \cos \omega + \sin \alpha \sin \omega)^2 - \sin 2\alpha \sin 2\omega \sin^2 \pi\varphi$$

$$\frac{E^2}{a^2} = \cos^2 (\alpha - \omega) - \sin 2\alpha \sin 2\omega \sin^2 \pi\varphi \quad (4)$$

Discussion de la formule (4).

Nous savons que $\varphi = \frac{e}{\lambda \cos r} (n_e - n_o)$

e représentant l'épaisseur de la plaque;

r l'angle des rayons que l'on regarde comme superposés dans la plaque et de la normale à ses faces;

n_e, n_o les indices des deux rayons.

Donc, dans le second terme interviennent λ et $n_e - n_o$.

Aussi, quand on emploie de la lumière blanche, composée d'un nombre infini de lumières de longueur d'onde très différentes, le second terme correspond-il à la somme des intensités de ces lumières et la formule générale doit-elle s'écrire :

$$(5) \quad \frac{E^2}{a^2} = \cos^2 (\alpha - \omega) - \sin 2\alpha \sin 2\omega \, \Sigma \sin^2 \pi \frac{e}{\lambda \cos r} (n_o - n_e).$$

Discutons les différents cas.

I. $\alpha - \omega = \frac{\pi}{2}$: cas où les sections principales du polariseur et de l'analyseur sont rectangulaires entre elles.

Puisque $\omega = \alpha - \frac{\pi}{2}$, la formule (5) devient :

$$\frac{E^2}{a^2} = \cos^2 \frac{\pi}{2} - \sin 2\alpha \sin(2\alpha - \pi) \Sigma \sin^2 \pi\varphi$$

ou (6) $$\frac{E^2}{a^2} = \sin^2 2\alpha \Sigma \sin^2 \pi\varphi .$$

Cas particuliers.

1° Soit $\omega = 0$ et $\alpha = \frac{\pi}{2}$. Les axes oX, oY de la lame sont parallèles aux sections principales de l'analyseur et du polariseur.

Toutes les couleurs s'éteignent à la fois dans les cristaux où toutes les couleurs ont les mêmes axes d'élasticité.

$$\frac{E^2}{2} = 0$$

$$2° \ \omega = 45° \qquad \alpha = \frac{\pi}{2} + 45$$

(7) $$\frac{E^2}{a^2} = \Sigma \sin^2 \pi\varphi \quad \Sigma \sin^2 \pi\varphi .$$

II. $\alpha = \omega$: le polariseur et l'analyseur sont parallèles.

(8) $$\frac{E^2}{a^2} = 1 - \sin^2 2\alpha \Sigma \sin^2 \pi\varphi .$$

Les valeurs (6) et (8) sont complémentaires.

$$2° \ \omega = 45° \qquad \alpha = 45$$

9) $$\frac{E^2}{a^2} = 1 - \Sigma \sin^2 \pi\varphi .$$

Toutes les couleurs ont leur maximum d'intensité.

Nous admettons dans cette discussion que toutes les couleurs ont les mêmes axes d'élasticité.

N. B. — Si on emploie un rhomboèdre au lieu d'un nicol, on a deux images.

L'intensité $\frac{O^2}{a^2}$ de l'image ordinaire s'obtient facilement au moyen de le formule (5) en y remplaçant α par $\alpha + \frac{\pi}{2}$; la formule devient :

$$\frac{O^2}{a^2} = \sin^2\alpha\cos^2\omega + \sin^2\omega\cos^2\alpha - 2\sin\alpha\sin\omega\cos\alpha\cos\omega\cos 2\pi\varphi$$

$$(11) \qquad \frac{O^2}{a^2} = \sin(\alpha - \omega)^2 + \sin 2\alpha \sin 2\omega \Sigma \sin^2 \pi\varphi$$

Les phénomènes sont complémentaires de ceux que donne $\frac{E^2}{a^2}$.

§ 2. — LUMIÈRE PARALLÈLE.

Interposons entre deux nicols croisés une ame prismatique, dont le plan du papier contient la section droite BCB′ (fig. 113).



Fig. 112.

Soient BCDE la lame vue d'en dessus (fig. 114); oX, oY les deux lignes d'extinction suivant lesquelles se décomposent les mouvements; α l'angle de oX avec la section principale de l'analyseur.

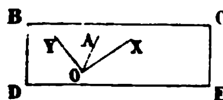


Fig. 113.

Faisons tomber sur la face BC un faisceau de lumière normale, polarisée par un premier nicol.

Dans (6) $\frac{E^2}{a^2} = \sin^2 2\alpha \sin^2 \pi\varphi$, α reste constant. Nous pouvons choisir $\alpha = 45°$ (maximum d'intensité). Posons $\sin^2 2\alpha = A^2$ et $\pi\varphi = x$, nous écrirons :

$$\frac{E^2}{a^2 A^2} = I^2 = \sin^2 \Sigma \pi\varphi .$$

Cette équation convient à la lumière blanche: en réalité à cha-

que couleur correspond l'équation $I^2 = \sin^2 \pi \frac{h\,(n^e - n^o)}{\lambda}$ où h représente l'épaisseur de la lame $n^e\ n^o$, sa biréfringence, λ la longueur d'onde de la couleur considérée. Étudions les influences de h, de λ et de n_e-n_o.

Pour faciliter l'intelligence de cette étude, nous emprunterons une figure heureusement conçue à un mémoire de M. Michel Lévy sur la mesure du pouvoir biréfringent des minéraux en plaque mince (*Bull. soc. fr. de min.*, t. VI, p. 235).

Pour nous rendre compte de l'influence de h et de λ, nous ferons d'abord abstraction du fond colorié de cette figure (fig. 116) qui montre les spectres lumineux successifs et nous considérons seulement les courbes coloriées qui sont des sinussoides, propres à différentes couleurs. L'unité des abcisses est la longueur d'onde $\lambda = 0^{mm},00551$ du jaune moyen et l'unité des ordonnées est l'intensité I de chaque rayon coloré qui entre dans la composition de la lumière blanche.

Soient oX la ligne des abscisses, oY celle des ordonnées. Pour $x = 0$ et en général $x = \frac{2m}{2}\pi$, ou $\varphi = \frac{2m}{2}$, $y = \sin x = 0$ atteint son minimum d'intensité.

Pour $x = \frac{2m+2}{2}\pi$ ou $\varphi = \frac{2m+2}{2}$, $y \sin x = 1$ est maximum.

La distance qui sépare deux points où $y = 0$ représente $\frac{\lambda}{2}$ circonférence rectifiée.

Or, ici, $i = 0$ et $\cos r = 2$; d'où $\varphi = (n_e - n_o)\frac{h}{\lambda}$.

On a donc pour les épaisseurs qui annulent l'intensité d'une couleur déterminée λ : $h = m\frac{\lambda}{n_o - n_e}$

et pour celles qui rendent l'intensité maxima :

$$h = \frac{2m+2}{2}\,\frac{\lambda}{n_e - n_o}$$

2° *Influence de* λ. — A chaque couleur correspond une courbe, comme on le voit fig. 116 : une courbe pour le bleu ; une pour le jaune ; une pour le rouge. Si on mène en un point quelconque de la ligne des abscisses une perpendiculaire, celle-ci rencontre toutes les courbes en des points d'intersection qui ont pour ordonnées les valeurs de l'intensité I correspondant pour chaque couleur à une même abscisse. On voit que l'ordonnée élevée au point marqué 1 sur la ligne des abscisses rencontre les courbes jaune et rouge au voisinage du maximum, les autres plus ni moins près du minimum. Donc, pour l'épaisseur h proportionnelle à l'abscisse oR_3, une lame secolorera d'un mélange où le jaune aura son plus grand éclat et où les autres couleurs feront plus ou moins défaut.

Il est facile de constater que, dans le premier intervalle qui sépare deux maxima d'intensité de couleurs différentes, il y a peu de différence entre les épaisseurs correspondantes et que cette différence des épaisseurs croît avec l'ordre m de la gamme.

C'est pourquoi les lames très minces ou trop épaisses ne se colorent pas, les couleurs s'éteignant presque ensemble dans les premières, ou, au contraire, trop loin les unes des autres dans les lames épaisses, qui ne correspondent plus à l'extinction complète et franche d'une couleur.

3° *Influence de* α. — Nous avons supposé la lame fixe entre des nicols. Mais faisons-la tourner sur elle même ; α, l'angle de l'axe oX avec la section principale de l'analyseur, devient nul lorsque oX est parallèle à oA. Sin $\alpha = 0$; toutes les couleurs s'éteignent ensemble dans un cristal orthorhombique, où les ellipsoïdes inverses des vitesses, surfaces d'onde des différentes couleurs, ont les mêmes axes d'élasticité. Si $\alpha = 45°$, sin $2\alpha = 2$, on a le maximum d'intensité.

Influence de $(n_e - n_o)$. Le fond de la figure montre des spectres coloriés conformément au cercle chromatique de Newton et se succèdent dans l'ordre indiqué par les chiffres 1, 2, 3. Pour chacun on a pris aussi comme unité de longueur celle de l'ordre

du jaune moyen. Au dessous de la figure coloriée sont tracées des lignes horizontales correspondant à des cinquièmes de millimètres en épaisseurs des plaques. Les divisions inscrites à gauche et en bas du cadre de la figure sont des fractions décimales de millimètres. Au dessous de la figure, l'auteur a pris comme terme de comparaison l'ordonnée correspondant au rouge du premier ordre et sur cette ordonnée il a inscrit les noms de plusieurs espèces minérales : apatite, néphiline, orthose, péridot, calcite, dont il a déterminé le pouvoir biréfringent au moyen d'un instrument qui sera décrit plus loin. A la suite des noms de ces espèces sont indiquées les épaisseurs qu'il faut donner aux lames à faces parallèles taillées dans ces matières pour qu'elles se colorent en rouge vif entre deux nicols croisés, comme il a été dit plus haut. Si on joint au point O les extrémités des ordonnées correspondant à chaque espèce minérale et qu'on prolonge les droites joignant ces points, on peut voir sur la figure quelle coloration les plaques de $0,^{mm}2$ d'épaisseur pourront acquérir pour chacune des substances déterminées. Ces déterminations bien interprétées peuvent être d'un grand secours dans la détermination des plaques d'une épaisseur connue. (Voyez plus loin : *Comparateur* de M. Michel Lévy.)

Dispersion des axes d'élasticité des différentes couleurs. — Dans les systèmes clinorhombique et asymétrique, les surfaces d'élasticité des différentes couleurs n'ont pas seulement des rayons vecteurs inégaux ; elles n'ont plus leurs axes parallèles.

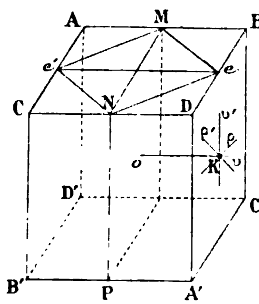


Fig. 114.

Considérons un prisme rectangulaire à base également inclinée sur les faces latérales ACB'D', DBA'C', oblique d'arrière en avant sur la face verticale antérieure CDA'B' (fig. 115). Le plan MNP mené par le centre parallèlement aux faces latérales est le plan de symétrie du cristal, et oK perpendiculaire à

MNP, parallèle à la diagonale ee' du rhombe inscrit dans la base, est l'axe de symétrie.

L'axe de symétrie est un axe commun à toutes les couleurs dans les surfaces d'onde ou inverse des vitesses. Les deux autres axes de ces surfaces sont situés dans le plan de symétrie, mais ils n'ont pas la même direction pour les différentes couleurs. On aura, par exemple, $K\rho$, $K\rho'$ comme axes du rouge, Kv, Kv' comme axes du bleu. La distance angulaire $\rho K v = \rho' K v'$ est en général faible, mais non négligeable. Cette dispersion des axes peut être constatée sur des lames quelconques d'un cristal clinorhombique, excepté sur celles qui sont perpendiculaires au plan de symétrie.

Or, nous avons dit plus haut que, en tournant une lame quelconque entre deux nicols croisés, on constate qu'elle laisse persister l'obscurité, lorsque ses deux axes d'élasticité ou ses deux lignes d'extinction sont parallèles aux sections principales des nicols. On voit qu'il ne peut y avoir en général d'extinction en lumière blanche sur ces lames que pour une direction moyenne entre les lignes d'extinction des couleurs différentes; aussi est-il préférable de faire ces observations sur des lames aussi minces que possible, où les couleurs extrêmes présentent des intensités peu différentes.

Ce qui précède s'applique *a fortiori* au système asymétrique, où il n'y a plus d'axe d'élasticité commun aux différentes radiations.

§ 3. — LUMIÈRE CONVERGENTE OU DIVERGENTE.

Si on reçoit dans l'œil les rayons venus de l'espace qui ont traversé une lame cristalline interposée entre deux nicols en croix, ils arrivent dans toutes les directions des différents points de la lame en forme de cônes divergents, dont les sommets situés à la distance de la vision distincte ont leurs foyers conjugés sur la rétine. Il sort de l'analyseur des vibrations inclinées suivant toutes les directions possibles dans tous les plans menés par son axe principal.

On peut faire varier successivement φ et x dans les formules qui donnent les valeurs de E.

Nous laisserons à la lame une direction fixe, supposant ω constant.

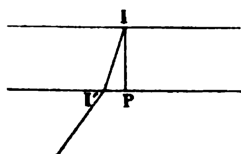


Fig. 115.

Surfaces isochromatiques. — Les deux rayons qui ont suivi une même route II', faisant avec la normale IP' un angle I'IP $= r$ (fig. 116), divergent si peu à l'émergence qu'on peut les regarder comme exactement parallèles; mais ils sortent avec une différence de phase :

$$\varphi = (n_e - n_o) \frac{h}{\lambda \cos r}.$$

h et λ, comme il a été dit plus haut, représentent l'épaisseur de la lame et la longueur d'onde de la couleur considérée; n_e, n_o sont les indices de réfraction correspondant à la direction commune II' des deux rayons et variant avec cette direction.

On démontre que $n_e - n_o$ est égal à très peu près à $(n_c - n_a)$ $\sin\theta \sin\theta'$, n_c et n_a étant les indices de réfraction correspondant aux axes d'élasticité les plus différents du cristal, θ et θ' les angles de ses axes optiques et de la direction II'. On a donc pour φ :

$$\varphi = \frac{n_c - n_a}{\lambda} \frac{h}{\cos r} \sin\theta \sin\theta'.$$

Posons $\frac{h}{\cos r} = \rho \qquad \varphi = \left(\frac{n_c - n_a}{\lambda}\right) (\rho \sin\theta \sin\theta')$

$$\frac{\varphi \lambda}{n_c - n_a} = \rho \sin\theta \sin\theta'.$$

Telle est l'équation de la surface *isochromatique*.

Pour une couleur de longueur d'onde λ déterminée, le premier facteur étant constant, tous les points pour lesquels le second le sera aussi présenteront la même différence de phase et la même valeur de E^2, c'est-à-dire les mêmes intensités de la lumière de cette longueur d'onde. Si donc différents points pré entent l'ex-

tinction d'une couleur, ils seront colorés du mélange des autres, et la surface $\frac{\varphi \lambda}{n_c - n_a} = \rho \sin \theta \sin \theta'$, formée par l'ensemble de ces points de même coloration, est dite *isochromatique* (1).

Si, dans la formule

$$E^2 = \sin^2 2\alpha \sin^2 \pi \varphi$$

on étudie d'abord les variations de φ, on voit, en se reportant à la figure, que l'intensité E^2 d'une couleur de longueur d'onde déterminée λ atteint son maximum par des valeurs $\varphi = \frac{2m+2}{2}$, qu'elle s'annule pour des valeurs $\varphi = \frac{2m}{2} = m$, que par conséquent les maxima et minima se reproduisent périodiquement ; on voit aussi que, pour une même épaisseur, puisque $\varphi = \frac{n_e - n_o}{\lambda} \frac{h}{\cos r}$, aux différentes abscisses de la courbe correspondent des maxima et minima différents pour les lumières de différentes longueurs d'onde. Donc, pour chaque couleur, il y a un système de surfaces d'égale intensité lumineuse, caractérisées par les multiples de φ, $m\varphi$, m étant un nombre entier. Ces surfaces sont évidemment homothétiques. Si on opère en lumière blanche, on aura ainsi des surfaces isochromatiques, qui se reproduiront à des distances croissantes du centre.

I. — CRISTAUX A UN AXE OPTIQUE.

$$\varphi = \frac{n_b - n_o}{\lambda} \frac{h}{\cos r} \sin^2 \theta \text{ ou } \frac{\varphi \lambda}{n_e - n_o} = \rho \sin^2 \theta$$

puisque $\theta = \theta'$, les deux axes étant réduits à un seul ; n_b, n_a sont les indices de réfraction correspondant aux directions équatoriales (*vibrations axiales*) et à la direction axiale, celle de l'axe optique

(1) Voy. Bertin, *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LXIII, p. 57. — Bouty, *Cours de Physique*, t. III, et Lippmann, *Cours d'optique*.

(*vibrations équatoriales*). Les surfaces isochromatiques y sont nécessairement de révolution autour de cet axe; elles se rapprochent d'hyperboloïdes de révolution (fig. 116); leurs sections parallèles à l'axe AA′ se rapprochent d'hyperboles, au voisinage de l'axe équatorial qui leur sert d'axe transverse. Une branche par suite n'est pas utile; les sections perpendiculaires sont des cercles.

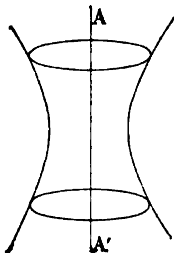
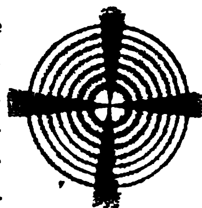


Fig. 116.

Sections normales à l'axe.

Les anneaux. — On a des cercles alternativement noirs et de la lumière qui éclaire la lame (fig. 117), si cette lumière est simple, ou des anneaux irisés, dont la couleur est le mélange de celles qui persistent aux points considérés (voy. figure coloriée, planche 5). En K sortent les rayons réfractés suivant la direction IK (fig. 118); à l'émergence, ils se séparent; nous avons admis qu'ils restent superposés à cause de leur peu de divergence; ils sortent ensemble suivant CKV, faisant dans l'air un angle VKN′ = VCQi avec la normale NN′.


Fig. 117.

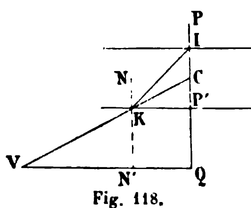


Fig. 118.

$$NKI = KIP' = \theta \quad \text{et} \quad \frac{\sin i}{\sin \theta} = n_0.$$

Les anneaux se voient à la distance V = CV de la vision distincte, et VQ = D = rayon d'un anneau;

$$\frac{VQ}{KP'} = \frac{CV}{CK} \quad \text{ou} \quad \frac{D}{d} = \frac{V}{CK}$$

d désignant la distance KP′.

KP′ = IP′ tg KIP′ = h tg θ = h sin θ, par approximation, à cause de la petitesse de i et de r, dans les limites où l'on observe les anneaux.

$$\frac{D}{d} = V : \frac{h \sin \theta}{\sin i} = \frac{n_o V}{h}. \quad \text{Or,} \quad \varphi = \frac{h}{\lambda}(n_e - n_o) \sin^2 \theta.$$

Mais, KP $= d = h \sin \theta$ donne $d^2 = h^2 \sin^2 \theta$ et $h \sin^2 \theta = \frac{d^2}{h}$

$$\varphi = \frac{n_b - n_a}{\lambda h} d^2 \text{ ou } d^2 = \frac{h\varphi\lambda}{n_e - n_o}$$

Donc, $\frac{D^2}{d^2} = \frac{n_o^2 V^2}{h^2}$ donne enfin :

$$D^2 = \frac{d^2}{h} \frac{n_o^2 V^2}{h} = \frac{\varphi\lambda}{n_e - n_o} \frac{n_o^2 V^2}{h} = \frac{\varphi\lambda}{h} \frac{n_o^2}{n_e - n_o} V^2.$$

Les carrés des diamètres ou des rayons des anneaux sont proportionnels à la différence de phase des deux rayons lumineux, à la longueur d'onde λ, inverses de l'épaisseur h et de la quantité $\frac{n_e - n_o}{n_o^2}$.

Influence de α. — Mais α, l'angle de oX et de la section principale variable de la lame uniaxe perpendiculaire à l'axe optique, influe sur les intensités, sur l'éclat des différents points du même anneau et de la même manière pour toutes les couleurs.

Les croix. — L'éclat d'un anneau varie depuis $\alpha = 0$, cas où $\sin^2 2\alpha = 0$, jusqu'à $\sin^2 2\alpha = 1$, cas où $\alpha = 45°$. Et l'éclat de toutes les couleurs augmente de 0 à 45° et s'éteint peu à peu de $\alpha = 45°$ à $\alpha = 90°$. L'ensemble des points obscurs de toutes les courbes isochromatiques forme deux lignes noires rectangulaires, parallèles aux sections des nicols ou aux axes des tourmalines croisées, et une croix noire, dont les branches sont appelées *lignes neutres.*

Nicols parallèles. — Lorsqu'on dispose parallèlement les sections principales des nicols ou les axes des tourmalines, la croix noire devient blanche et les anneaux en lumière blanche s'irisent des couleurs complémentaires de celles qu'ils montraient entre les nicols croisés.

Le calcul démontre que la section méridienne de la surface est une courbe voisine d'une hyperbole, et que, par conséquent, sur des

lames parallèles à l'axe, on aura, non plus des anneaux, mais des franges à forme d'hyperboles; que, sur une lame dont l'axe est à 45° des nicols, ces franges forment deux systèmes de courbes entre croisées.

II. — CRISTAUX A DEUX AXES OPTIQUES.

A. Système orthorombique.

En lumière monochromatique. — Cherchons la figure formée par les points d'intersection de la face ABCD par où sort la lumière et des directions, telles que KM, capables d'établir entre les deux rayons polarisés qui la suivent en semble des différences de phase égales à un nombre impair de demi-longueurs de l'onde λ de la couleur employée. A chacun des nombres entiers 1, 2, 3,... substitués à m dans $(2m+1)\frac{\lambda}{2}$, pour des valeurs différentes de φ, correspond une de ces figures composée de points noirs, c'est-à-dire où la lumière s'éteint à la sortie de ABCD en traversant l'analyseur.

Nous savons que la lumière λ prend, au contraire, son intensité maximum au travers de l'analyseur pour les directions où les deux rayons concomitants ont acquis une différence de phase $2m\frac{\lambda}{2}$ dans la lame. A chaque valeur entière de m correspondent, par conséquent, deux figures, une des points où la couleur s'éteint et l'autre des points à clarté intense. A chaque λ enfin correspond un système de ces figures alternativement sombres et éclairées, qui sont homothétiques.

Les lemniscates. — Le calcul montre que les courbes ont pour équation :

$$x^4 + My^4 + Nx^2y^2 + Px^2 + Qy^2 + R = 0 \ (1).$$

Leurs formes sont donc très voisines de celles du genre de cour-

(1) Voir Billet, *Optique physique*, t. II, p. 595. — Bouty, *loc. cit.*

bes auxquelles appartiennent les lemniscates exprimées par l'équation :

$$x^4 + y^4 + 2x^2y^2 + P(y^2 - x^2) + R = 0.$$

Ce sont des courbes telles que le produit VM. V'M des distances d'un de leurs points M à deux points fixes V et V' reste constant. En écrivant leur équation comme il suit :

$$(x^2 + y^2)^2 + 2c^2(y^2 - x^2) = a^4 - c^4$$

on voit qu'elles ont les formes (fig. 119 et 120) :

(1) pour $a < c$

(2) pour $a = c$

(3) pour $a > c$

(4) pour $a > c\sqrt{2}$. La courbe (4) est entièrement convexe

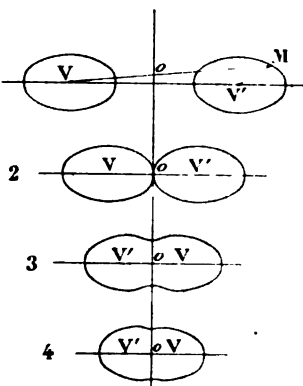


Fig. 119 et 120.

en désignant par c la distance $oV = oV'$ et par a^2 le produit constant des distances $\overline{MV}.\overline{MV'}$. Les foyers V et V' sont, bien entendu, les points d'intersection de la face ABCD et des axes optiques KV, KV' (fig. 121); oZ est la bissectrice de l'angle aigu de ces axes. Une plaque parallèle à la face A'DBC', perpendiculaire à la bissectrice Y de l'angle obtus des axes, montre les mêmes phénomènes ; mais les deux points fixes V et V' sont plus écartés.

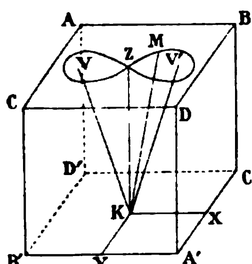


Fig. 121.

Nous voyons bien ce que deviennent les anneaux colorés circulaires des cristaux à un axe optique dans les biaxes. Mais qu'arrive-t-il à cette croix noire qui traverse les anneaux et qui est le lieu des points où toutes les couleurs s'éteignent,

comme on le voit en posant $\alpha = o$ dans la formule générale $E^2 = \sin^2 2\alpha \cos^2 \pi\varphi$.

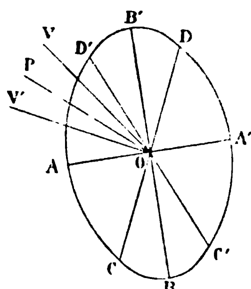


Fig. 122.

Lignes neutres ; les hyperboles. — *Influence de α.* — Considérons d'abord une section elliptique centrale de l'ellipsoïde inverse des vitesses, dont les axes sont AA', BB' dans le plan de la figure, qui est celui d'une onde intérieure du cristal. On sait que les axes AA', BB' sont les directions des vibrations des deux plans d'onde parallèle, qui se propagent sur la normale *o*P à la section (fig. 122).

Les sections circulaires de l'ellipsoïde coupent cette section suivant deux droites CD, C'D', par exemple, puisque tous les rayons des deux sections circulaires sont égaux. Menons les normales *o*P au plan de la figure et *o*V, *o*V' aux droites CD, C'D' dans le plan des axes optiques. CD perpendiculaire à *o*P, comme ligne du plan de la figure, et à *o*V, comme ligne de la section circulaire, est perpendiculaire au plan P*o*V mené par ces deux droites. De même C'D' est perpendiculaire au plan P*o*V'. Donc, les plans P*o*V, P*o*V' sont perpendiculaires à la direction plane des plans d'onde. Les plans PA*o*, PB*o* sont aussi perpendiculaires à cette direction plane.

Donc, les angles plans C*o*B, C'*o*B mesurent les dièdres que font les plans menés par les axes optiques et les traces des sections circulaires avec le plan P*o*B. Mais les droites *o*C, *o*C' étant égales sont à égale distance de *o*B. Donc, le plan P*o*B est bissecteur du dièdre des plans V*o*C, V*o*C'.

Or, la section montre noirs les points où elle est coupée par les directions où les deux rayons concomitants sortis de l'analyseur ont une différence de phase égale à $(2m + 1)\frac{\lambda}{2}$. Soit N un de ces points obscurs (fig. 123) ; V et V' les points où les axes optiques

rencontrent la lame, pôles des lemniscates. Si le plan de polarisation du rayon de direction oN, o étant le centre du cristal, bisèque l'angle des plans VNo, $V'No$, c'est un des plans sur lesquels se décomposerait la vibration; celle-ci ne se décompose pas dans le plan d'onde (figure précédente), et le point N restera noir. Le calcul montre que le lieu de ces points est une hyperbole ayant V et V' pour sommets. En effet :

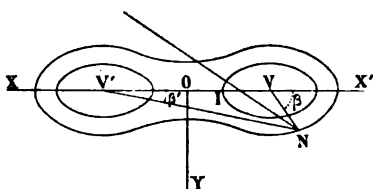


Fig. 123.

Soient $2\delta = VV'$; α = angle de polarisation et de ZoX'; NI bissectrice de $V'NV$; o' projection du centre de la surface sur le plan de la figure; oX', oY, axes des coordonnées parallèles aux axes oX, oY menés par le centre de la surface; α l'angle qui satisfait aux conditions qui donnent l'obscurité;

$$X'V'N' = \beta', \qquad X'VN = \beta$$

On a : $$VNV' = NVX' - NV'X' = \beta - \beta'$$

et $$VNI = \frac{1}{2}(\beta - \beta') = INN'; \quad \text{puis,} \quad VIN = \gamma = IV'N + IN'$$

$$= B' + \frac{1}{2}(\beta - \beta') = \frac{1}{2}(\beta + \beta'). \quad \text{Mais} \quad \gamma = \alpha.$$

Donc $$\beta + \beta' = 2\alpha.$$

Or, si on désigne par x_1, y_1 les coordonnées 2N, on a :

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{y_1}{x_1 - \delta}$$

et $$\operatorname{tg}\beta' = \frac{y_1}{x_1 + \delta} \quad \text{ou} \quad \operatorname{tg}(\beta + \beta') = \frac{\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\beta'}{1 - \operatorname{tg}\beta \operatorname{tg}\beta'}$$

$$= \frac{2x_1 y_1}{x_1^2 - y_1^2 - \delta^2} = \operatorname{tg} 2\alpha$$

ou $$2x_1 y_1 = (x_1^2 - y_1^2 - \delta^2)\operatorname{tg} 2\alpha.$$

C'est l'équation d'une hyperbole équilatère.

Si le plan de polarisation bissectait l'angle obtus des axes optiques, il n'y aurait pas non plus de dédoublement de la vibration dans la lame, et les points de cette seconde bissectrice seraient encore sur une courbe noire.

α est l'angle d'un axe de la lame et de la section principale du polariseur.

Soit $\alpha = 0 = 90°$, l'hyperbole devient une croix noire à deux branches. Soit $\alpha = 45°$; on a $x^2 - y^2 = \delta^2$, hyperbole. Les points V et V' restent toujours sur la courbe, puisque, pour $y = 0$, on a $x = + \delta$, quel que soit δ.

C'est généralement dans la position $\alpha = 45°$, où la ligne VV' des pôles des lemniscates bissèque l'angle des sections principales croisées du polariseur et de l'analyseur, qu'on observe des cristaux biaxes, parce que, dans cette position, on ne court pas le risque de confondre l'hyperbole de ces cristaux avec la croix noire des uniaxes.

Lames perpendiculaires à un axe optique. — On observe un seul système d'anneaux plus ou moins ovales, ayant pour centre commun le point où l'axe optique perce la lame, et traversés par une branche d'hyperbole dont la concavité est tournée vers l'axe, si le plan des axes est à 45° des nicols et par une barre noire, si ce plan est parallèle à l'un des nicols.

Lames parallèles au plan des axes. — Elles donnent des franges hyperboliques.

Surfaces isochromatiques dans les biaxes. — Elles sont à deux nappes, dont nous n'avons à considérer que l'extérieure, *utile*, la seconde, que les géomètres appellent *parasite* et qui n'est pas dessinée, étant un ellipsoïde intérieur à la première. La nappe utile a, comme on voit (fig. 124), la forme de deux tubes qui se croisent et se raccordent vers le centre. Elle admet deux directions asymptotiques oV, oV' qui sont les axes optiques propres à sa couleur. A cette couleur correspond une série de surfaces homothétiques où les directions asymptotiques oV, oV''

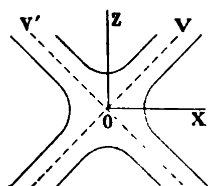


Fig. 124.

restent les mêmes, et qui donnent, dans les sections étudiées plus haut, ces courbes concentriques successives, qui grandissent avec le facteur $(2m + 1)$ de $\frac{\lambda}{2}$.

Dispersion (distribution des couleurs dans les cristaux biaxes)

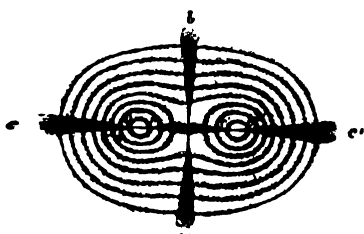


Fig. 125.

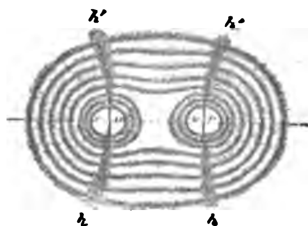


Fig. 126.

(fig. 125 et 126). — *Soit un cristal rectangulaire droit* : le plan des axes est déterminé par les lignes menées du centre aux foyers des courbes. Les trois axes d'élasticité optique communs à toutes les couleurs sont parallèles aux arêtes du prisme rectangulaire. L'un de ces axes est la bissectrice de l'angle aigu des axes et porte le nom de *bissectrice aiguë*, *oa* dans la figure; le second *ob* est bissectrice de l'angle obtus; c'est la bissectrice *obtuse*; le troisième est dit *ligne perpendiculaire.*

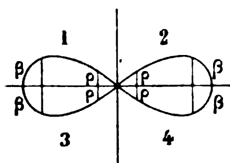


Fig. 127.

Soit, figure 127, un des systèmes d'anneaux vu de face. Divisons l'espace en quatre quadrants, 1, 2, 3, 4.

Il y a symétrie parfaite pour les quatre quadrants dans tous les anneaux (1).

(1) Les figures 127 et 128 représentent les phénomènes observés en lumière simple ou monochromatique dans des plaques à faces parallèles et perpendiculaires à la bissectrice aiguë de l'angle des axes dans une substance cristallisée appartenant au système orthorhombique et observée en lumière convergent entre deux nicols croisés. Les figures coloriées de la planche montrent les mêmes sections observées en lumière blanche. Chaque point de l'espace y est éclairé par un mélange de couleurs dont chacune a l'intensité qui lui est propre en ce point.

B. Système clinorhombique.

Le plan *aoa'o'* (fig. 128) étant un plan de symétrie, les couleurs doivent être distribuées symétriquement des deux côtés de plan; mais leur distribution varie avec les orientations des plans des axes qui peuvent être : 1° parallèles, 2° perpendiculaires à celui de symétrie.

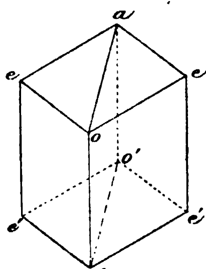


Fig. 128.

1° PLANS DES AXES PARALLÈLES AUX PLANS DE SYMÉTRIE.

Dispersion inclinée. — Les axes *rr'*, *rr'*, sont dans le plan de symétrie, ainsi que les axes *bb'*, *bb'* ; les bissectrices Kρ, Kβ y sont donc aussi (fig. 129). Une plaque perpendiculaire à une direction moyenne KV intermédiaire entre les bissectrices montrera dans les anneaux une symétrie parfaite à droite et à gauche de *ao*, trace du plan de symétrie, mais une dissymétrie probable par rapport à *bb'*, qui se traduira par une différence de courbure des anneaux, de nuances ou tout au moins d'intensité des colorations aux mêmes distances du point K sur les perpendiculaires à *bb'* (fig. 130). C'est ce qu'on appelle *dispersion inclinée,* les couleurs y étant dispersées symétriquement par rapport à la diagonale inclinée. Lorsque les axes font entre eux des angles aigus, qui approchent de 90°, leurs angles obtus ne s'en éloignent pas beaucoup non plus, puisqu'ils sont supplémentaires des premiers. On peut souvent alors observer les deux plaques perpendiculaires, l'une à la bissectrice aiguë, l'autre à la bissectrice obtuse.

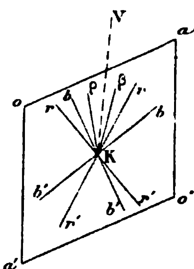


Fig. 129.

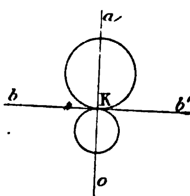


Fig. 130.

2° PLANS DES AXES PERPENDICULAIRES.

Les axes du rouge *rr'*, *rr'* déterminent un plan passant par le centre K, dont les traces *rr*, *r'r'* sur les bases sont parallèles aux diagonales horizontales *ee*, *e'e'*, en arrière de la diagonale *ee*, en avant de la diagonale *e'e'*. Le plan des axes du bleu, *bb'*, *bb'*, a ses traces *bb*,*b'b'* sur les bases parallèles aux diagonales horizontales, en avant sur la base supérieure, en arrière sur l'inférieure (fig. 131).

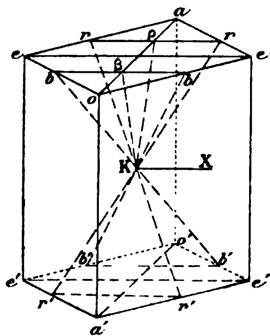


Fig. 131.

Les bissectrices des angles des axes du rouge sont Kρ, située dans le plan de symétrie, et KX, normale à ce plan; de même, pour le bleu, les bissectrices sont Kβ dans le plan de symétrie et KX normale à ce plan.

Soit KX la direction commune des bissectrices obtuses des axes optiques des différentes couleurs, tandis que leurs bissectrices aiguës sont disséminées dans le plan de symétrie.

Dispersion horizontale. — Si donc on taille une plaque perpendiculaire à la direction moyenne des bissectrices Kβ, Kρ... (fig. 132), on y voit, dans les anneaux du centre, du rouge au bord des arcs supérieurs, du bleu au bord des arcs inférieurs des premiers anneaux, ou du bleu au-dessus, du rouge au-dessous de la barre qui les traverse. C'est ce qu'on nomme la *dispersion horizontale* (ex. feldspath orthose) caractérisée par la distribution symétrique des couleurs à droite et à gauche de la diagonale horizontale *ee*.

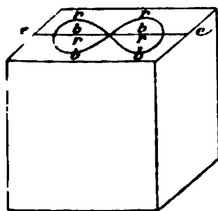


Fig. 132.

Dispersion croisée ou tournante. — Si la bissectrice aiguë des axes optiques devient la ligne KX perpendiculaire au plan de

symétrie ou à un plan parallèle AOA'O', et que celui-ci reste perpendiculaire à ceux des axes optiques *b*K*b*, *r*K*r*, tout se croise sur le plan, celui de la plaque (fig. 133). Les traces des axes rouges et bleus sur le plan AOA'O' sont également croisées, *r* et *b* étant en avant, *r'* et *b'* en arrière de l'intersection de ce plan et de celui de la figure qui lui est intermédiaire entre les plans *r'*K*r'* et *b*K*b*.

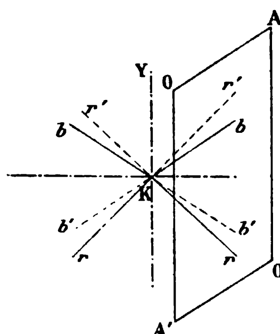


Fig. 133.

La disposition des couleurs dans les anneaux reproduit ce croisement; on l'appelle, à cause de cela, *dispersion croisée* ou *tournante*. La bissectrice aiguë est ici, comme il a été dit plus haut, un axe d'élasticité propre à toutes les couleurs (fig. 134).

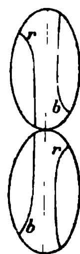


Fig. 134.

Lorsque les axes font entre eux des angles aigus, qui approchent de 90°, leurs angles obtus n'en sont pas non plus très éloignés, puisqu'ils sont supplémentaires des précédents. On peut alors observer les dispersions pour les plaques normales aux deux bissectrices; mais, fréquemment, les axes sont trop écartés pour les plaques perpendiculaires à la bissectrice obtuse, et l'on est convenu de donner comme caractéristique d'une espèce minérale la dispersion observée au travers de la plaque perpendiculaire à la bissectrice aiguë moyenne en lumière blanche, si les bissectrices aiguës des différentes couleurs sont disséminées dans le plan de symétrie (*dispersions inclinée et horizontale*), ou à la bissectrice aiguë commune à toutes les couleurs (*dispersion croisée*).

C. Système asymétrique ou triclinique.

Ici, dans les plaques taillées perpendiculairement à l'une des bissectrices aiguë ou obtuse, on voit des courbes analogues aux

précédentes, mais où les quatre quadrants *ape*, *api*, *epo*, *opi*, doivent différer théoriquement et diffèrent généralement en effet les uns des autres. La figure 135 montre, par exemple, la combinaison des dispersions croisée et inclinée.

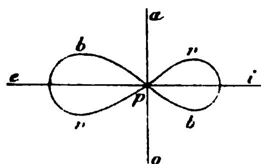


Fig. 135.

Signe de la dispersion. — Soit ρ, ρ les traces des axes optiques rouges; *v*, *v* les traces des axes optiques violets; les anneaux rouges se rapprocheront plus du milieu *m* de la ligne des foyers que les violets (fig. 136). Supposons que les courbes ponctuées représentent les premiers anneaux rouges éteints, elles seront colorées du mélange des couleurs persistantes; admettons que ce soit du bleu verdâtre β. Si les courbes en traits pleins représentent les premiers anneaux éteints du violet à droite et à gauche, elles paraîtront colorées du mélange du reste; admettons que ce soit du rouge orangé.

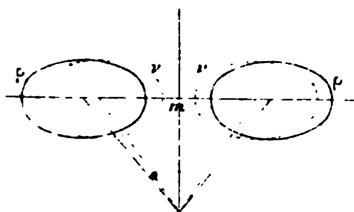


Fig. 136.

Les deux β du centre se confondront dans la masse centrale; on verra de chaque côté des foyers ρ et *v* du rouge en dedans et du bleu en dehors; donc cette distribution des couleurs correspond à $\rho < v$, c'est-à-dire à un angle des axes optiques plus petit pour le rouge que pour le bleu.

Le caractère $\rho \gtrless v$ est constant dans chaque espèce. Faisons tourner le système à 45°; soit toujours les traces ρ des axes rouges en dedans de celle *v* des axes bleus.

L'extinction a lieu sur les hyperboles qui passent en ρ et qui paraissent bleues. L'extinction du bleu a lieu sur les hyperboles qui passent en *v* et qui paraissent rouges. Donc, pour $\rho < v$, les hyperboles sont bordées de bleu en dedans et de rouge en dehors (fig. 137).

Un assez grand nombre d'espèces se présentent sous des formes qu'on appelle *limites*, qui, appartenant en réalité à un système cristallin, présentent des angles très voisins de ceux qui semblent le privilège d'un système de symétrie supérieure. Un très grand nombre de prismes droits, qui constituent la forme dominante d'espèces minérales cristallisées, ont un angle tellement voisin de 120° qu'il faut des mesures goniométriques d'une grande précision pour ne pas les confondre avec les prismes hexagonaux, d'autant mieux que, dans ce cas, ces prismes se combinent aux plans g^1, qui forment avec leurs plans de véritables prismes hexagonaux. Ou bien, des prismes obliques ont des bases inclinées presque à 90° sur la face antérieure h^1 (ex. datholite). Les caractères optiques sont précieux dans ces cas difficiles; car les axes d'élasticité peuvent être fort éloignés des traces des faces qu'on appelle p et h^1 sur le plan de symétrie dans le système clinorhombique, et les angles des axes optiques peuvent être considérables, même dans les prismes droits à angles limites.

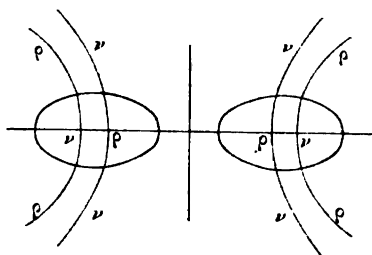


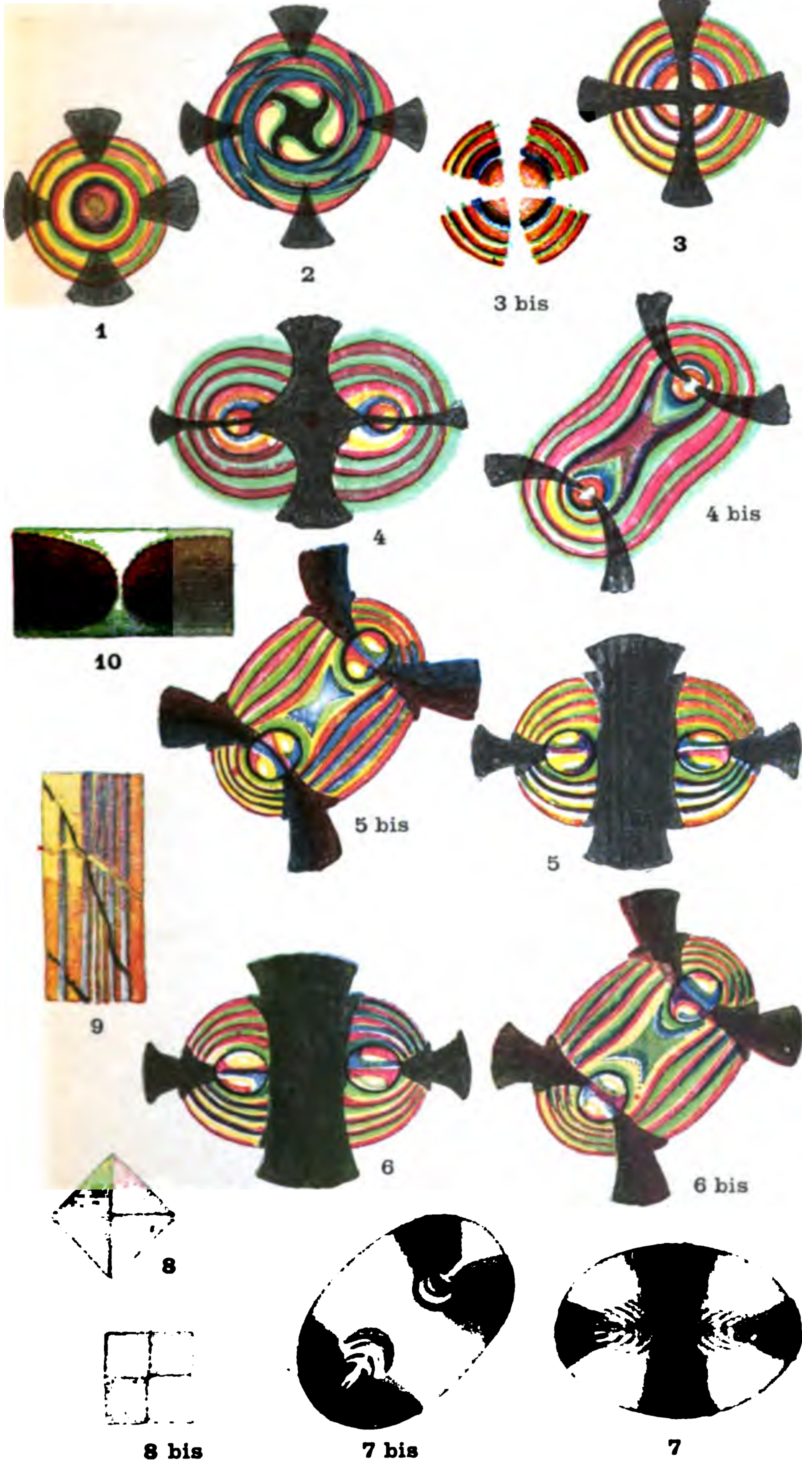
Fig 137.

CHAPITRE VII

MICROSCOPES

§ 1. — EN LUMIÈRE PARALLÈLE.

Soit (fig. 138) la représentation schématique d'un microscope composé, muni de deux nicols.


1
2
3 bis
3
4
4 bis
10
5 bis
5
9
6
6 bis
8
8 bis
7 bis
7

L et L' objectif et oculaire ; P polariseur ; MM' miroir incliné de façon à envoyer au polariseur P des rayons parallèles à l'axe optique de l'instrument. *pb* l'objet reçoit des rayons normaux à ses faces et parallèles entre eux. L'objectif L donne en *p'* une image réelle et renversée de *p*. L'oculaire porte cette image en *p''*. L'œil reçoit les rayons qui divergent de *p''*, dans la région appelée *anneau oculaire*. Chacun des rayons sortis du polariseur va rencontrer l'objet et sort dédoublé en deux rayons qu'on peut regarder comme superposés et qui, traversant l'analyseur, s'y dédoublent à leur tour chacun en deux rayons, dont l'analyseur éteint celui qui vibre perpendiculairement à sa section, en sorte qu'il n'arrive à l'œil, au sortir de l'analyseur, que deux rayons vibrant dans cette section principale et capables d'interférer.

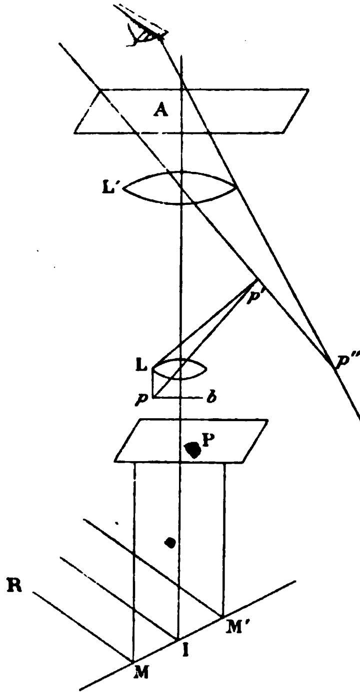


Fig. 138.

Quand on place l'analyseur entre l'œil et le microscope, il faut disposer l'oculaire de façon à ce que l'anneau oculaire soit reporté au delà de l'analyseur (fig. 139). Souvent on met le nicol dans le corps de l'instrument; cette disposition est plus commode, bien qu'elle enlève un peu de champ. Au foyer de l'oculaire est fixée une croisée de fils, et la platine est un cercle divisé, qui peut tourner sur lui-même devant un vernier.

Dans les grands modèles de microscopes construits par M. Nachet, le polariseur est placé par construction de façon que sa section

principale se trouve dans le plan d'incidence des rayons. L'analyseur A est dans le tube, mais on peut l'en retirer en le faisant basculer autour d'un axe perpendiculaire à l'axe optique (fig. 139). On soulève l'analyseur pour avoir de la lumière. On fait tourner sur elle-même la platine ou porte-objet, qui est, comme nous l'avons dit, un cercle divisé, jusqu'à ce que la direction o — 180° soit en regard du zéro du vernier fixe. Il est bon de tracer sur la platine cette direction diamétrale o — 180°. On applique parallèlement à cette direction le long côté d'une aiguille fine de mésotype, qui doit s'éteindre parallèlement à sa longueur entre deux nicols croisés. Alors on abaisse l'analyseur, et, si l'extinction a lieu complètement, on est certain que le polariseur et l'analyseur sont bien rectangulaires entre eux.

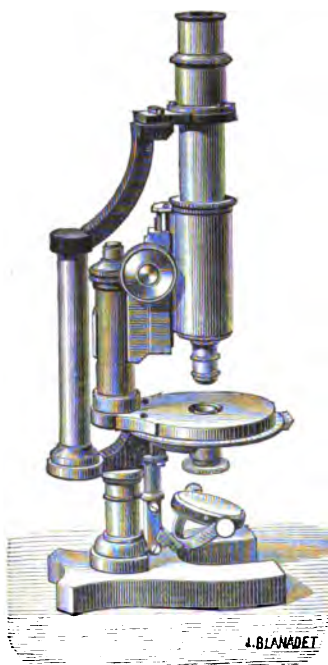


Fig. 139.

Si l'extinction n'a pas lieu, on tourne un peu sur lui-même au-dessous du porte-objet le polariseur jusqu'à ce qu'on l'obtienne.

Dans d'autres microscopes, où l'analyseur est resté mobile et le polariseur fixe, c'est l'analyseur qu'on tourne sur lui-même pour obtenir l'extinction.

(On peut substituer, sur le porte-objet, aux aiguilles fines de mésotype, des lames de gypse présentant deux cristaux groupés parallèlement à h^1, tels que les cristaux de Bex. Les deux cristaux, parallèles chacun au plan de symétrie, se colorent de la même teinte, lorsque la ligne de jonction des deux subdivisions du groupe est parallèle à une section des deux nicols croisés.)

On soulève alors l'analyseur pour redonner de la lumière; on dispose un des fils de l'oculaire parallèlement à l'aiguille de méso-

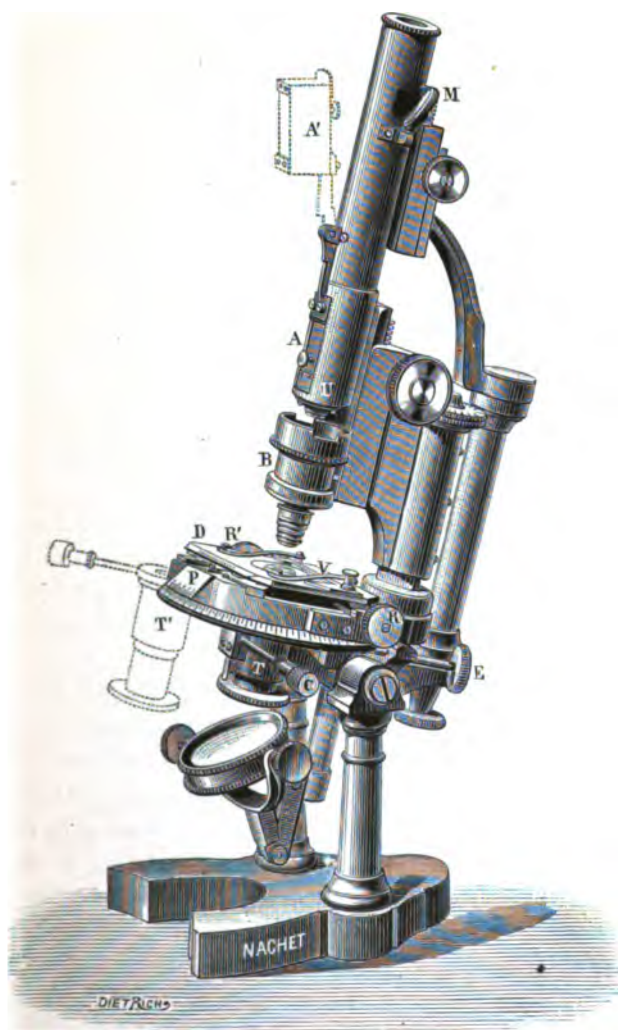


Fig. 140. — Microscope construit par M. Nachet, grand modèle.

type ou à la ligne de jonction des cristaux de gypse maclés. C'est maintenant ce fil qui servira de ligne de repère. On place sur le porte-objet la lame soumise à l'étude. Le problème qu'on se propose est de déterminer l'angle d'une ligne d'extinction (puisque les deux lignes d'extinction qu'on peut observer dans une lame sont rectangulaires entre elles) et d'une direction connue sur la lame. On place la lame sur le porte-objet de façon à ce que cette direction connue soit parallèle à celui des fils du foyer de l'oculaire qu'on a choisi comme ligne de repère. On peut, d'ailleurs, tourner la platine sur elle-même jusqu'à ce qu'on obtienne le parallélisme du fil en question et de la direction connue de la lame.

On note la division du cercle correspondant au zéro du vernier; on fait tourner de nouveau la platine sur elle-même jusqu'à l'extinction la plus complète possible de la lumière qui traverse la lame cristalline étudiée. On note la nouvelle division de la platine qui correspond au zéro du vernier; la différence des deux angles ainsi notés fait connaître l'angle qu'on cherche.

Souvent sur la platine P du microscope est adaptée une pièce DV qui devient le vrai porte-objet, qui permet de donner aux lames cristallines deux mouvements rectangulaires et d'amener sur l'axe optique de l'instrument le point de la lame qu'on veut considérer.

Dans le nouveau modèle construit par M. Nachet, la potence intermédiaire située près du bras fixe de l'instrument, tournée à la main, entraîne ensemble l'objectif et le porte-objet, en sorte qu'un point de l'objet soumis à l'observation étant placée vis-à-vis de la croisée de fils ne se déplace pas pendant la rotation. A′ représente l'analyseur qu'on peut abaisser dans le champ de l'instrument, ou en retirer à volonté.

En E s'élève le bras fixé à la partie immobile et portant à son extrémité supérieure un anneau dans lequel glisse un tube cylindrique qui renferme en bas le nicol analyseur A et en haut l'oculaire et sa croisée de fils. En B un anneau incomplet permet de glisser les divers objectifs.

§ 2. — LUMIÈRE CONVERGENTE.

Les phénomènes observés en *lumière dite convergente* sont ceux qui caractérisent les différentes directions d'une lame cristalline :

1° L'exemple le plus simple en est donné par la pince à tourmalines. Tous les points de l'espace diffusent de la lumière qui rayonne dans toutes les directions possibles. Une partie de ces rayons tombe sur une première tourmaline ; elle émerge en rayons polarisés qui vibrent en tous sens dans les différentes sections principales du polariseur, et qui traversent la lame où ils se dédoublent chacun en deux, la différence de phase de ceux-ci variant avec leurs inclinaisons communes sur les axes optiques de la lame ; ces rayons, qui sont dédoublés, mais que l'on peut considérer comme concomitants deux à deux, traversent ensuite l'analyseur et pénètrent dans l'œil de l'observateur qui embrasse les différents points de l'intersection de la surface isochromatique du cristal et d'une direction plane parallèle aux faces de la lame cristalline, situés à la distance de sa vision distincte et dans le champ que lui laisse libre sa pupille.

Soit une lentille AA' et une lame cristalline RR' (fig. 141).

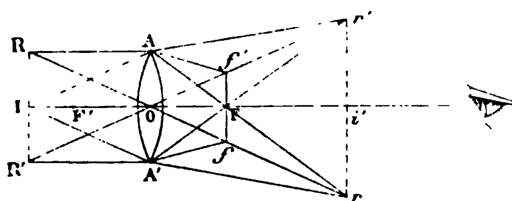


Fig. 141.

Des différents points de la lame menons les axes secondaires R*o*, I*o*, R'*o* passant par le centre optique *o*. Les foyers principaux sont F, F' pour l'axe principal, et *f*, *f'* pour les axes secondaires. La lame RR' est en avant de F' ; l'image se fait en *rr'*, au delà des foyers *f*, F, *f'*. Pour simplifier la figure, nous prenons une lar-

geur RR′ de la lame égale à celle de la lentille. Les sommets *r, r′* des cônes *r′*AA′, *r*AA′, sont les images des sommets des cônes RAA′, R′AA′.

On peut grouper les rayons qui traversent la lame d'une autre manière; prenons tous ceux qui sont parallèles à l'axe secondaire R*o*, tels que R*o*, IA′; ils se rencontrent en *f*, foyer principal de cette direction ; de même les rayons parallèles à l'axe secondaire R′*o* se rencontrent en *f′* sur cet axe. On a donc sur une surface perpendiculaire en F à FF′, qu'on peut regarder comme plane, les points de rencontre des rayons parallèles à tous les axes secondaires menés par tous les points de la lame et sur le plan *f′f*. On peut voir en *ff′* la somme des clartés produites par les rayons parallèles à chaque direction et la coloration produite par les interférences suivant cette direction ; il suffit de placer l'œil à une distance de *ff′* égale à celle de la vision distincte.

On ne voit plus la lame, mais des faisceaux de rayons parallèles aux axes secondaires des points RR′.

Supposons que AA′ soit l'objectif d'un microscope ; retirons l'oculaire et remettons le nicol ; l'œil, en regardant dans l'axe du tube, peut voir très près de l'objectif en *f, f′*, les courbes isochromatiques produites par les interférences des rayons qui traversent la lame dans toutes les directions.

Tel est le procédé de von Lasaulx ; il a l'inconvénient de ne donner que des images très petites ; il a, au contraire, l'avantage de permettre d'observer les différents phénomènes en lumière parallèle et en lumière convergente avec un seul instrument et sans avoir à déplacer la lame.

Quand on emploie cette méthode, il faut choisir un objectif à fort grossissement et remonter le condenseur au moyen de la vis C.

On peut conserver un oculaire d'un faible grossissement en adoptant la disposition de M. Émile Bertrand (fig. 142).

Dans le microscope, auquel on laisse ses deux systèmes de lentille (objectif et oculaire), est introduite à volonté une lentille

achromatique G d'environ 3 centimètres de foyer, qu'on peut approcher ou éloigner de l'objectif à l'aide d'une crémaillère F. Sous la platine, au-dessus du polariseur, sont fixées deux lentilles à très



Fig. 112. — Microscope de M. Emile Bertrand.

court foyer, dites demi-boules, qui amènent sur l'objet un faisceau de rayons lumineux polarisés très convergents.

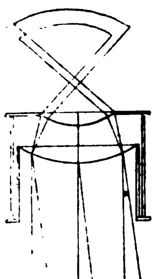


Fig. 144.



Fig. 145.

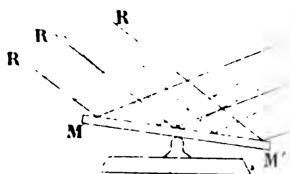




Fig. 143.

Les détails vont être expliqués par l'instrument que voici :

Microscope d'Amici. — Dans ce microscope, l'oculaire permet d'amener à la distance de la vision distincte les points où convergent les rayons parallèles aux différentes directions (fig. 143).

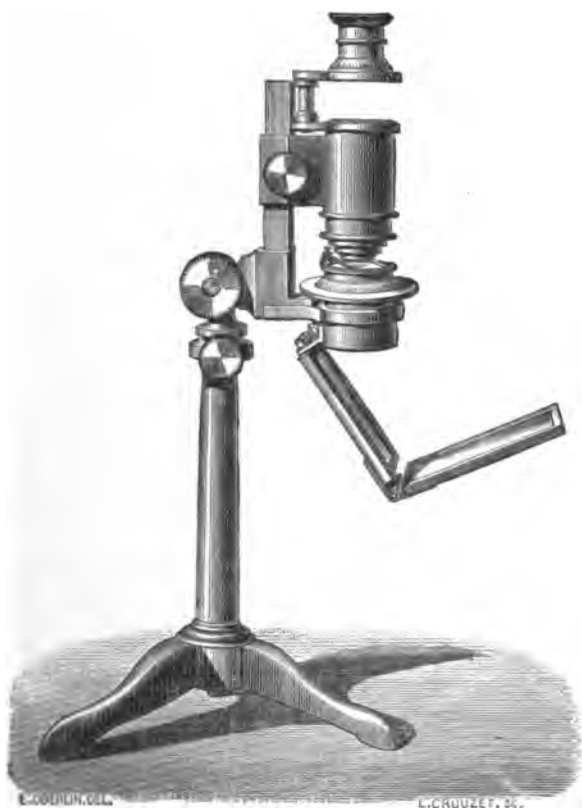


Fig. 146.

Cet instrument, construit pour la première fois par Amici, se compose de l'objectif *oo*, d'une lentille intermédiaire et d'un oculaire coiffé ici d'un nicol S.

Entre l'objectif du microscope et le polariseur on dispose deux systèmes de lentilles.

Un polariseur NN', pile de glaces ou nicol, envoie de la lumière verticale au microscope.

Les rayons RM', RM sont parallèles ou à peu près; un système de deux lentilles, qu'on peut appeler *disperseur*, ou condenseur, fait diverger considérablement les systèmes de rayons RI, R'K, de façon que la lame cristalline V est parcourue par des rayons très obliques les uns sur les autres. Au sortir de la lame V, ceux-ci sont recueillis par un système de lentilles qu'on peut appeler *collecteur*, et qui les ramène à leur direction primitive, de sorte que, presque parallèles, ils rentrent dans le champ du microscope, lequel ne diffère plus des microscopes ordinaires que par la distance à laquelle la disposition relative de l'objectif et de l'oculaire reporte le cercle de Ramsden, pour qu'on puisse placer un analyseur entre l'oculaire et l'œil.

Les figures 144 et 145 montrent la marche de la lumière, la première dans le condenseur, la seconde dans le collecteur.

La figure 146 est un modèle du microscope d'Amici, tel qu'il se construit maintenant. MM. Des Cloiseaux, Nodot, l'ont successivement modifié.

M. Werlein l'a beaucoup perfectionné sur les indications de M. E. Bertrand.

CHAPITRE VIII

MESURE DE L'ANGLE DES AXES.

On a vu plus haut que les axes optiques sont les normales N*o*, N'*o* aux deux sections circulaires de l'ellipsoïde inverse des vitesses. Ce sont aussi les normales *o*T aux tangentes T*t* communes aux

deux courbes, l'une circulaire, l'autre elliptique, qui se coupent dans le plan des ZX. Les physiciens les appellent, comme il a été dit, axes de réfraction conique intérieure, parce que le rayon incident qui suit l'une de ces directions se résout dans le cristal en une infinité de rayons formant un cône oblique à base circulaire, auquel succède à l'émergence du cristal un cylindre creux.

Si on appelle $V = VoX$ l'angle de la normale à une section circulaire de l'ellipsoïde inverse et de l'axe $OX = \frac{1}{a}$, ici le plus petit, on peut calculer cet angle, quand on connaît les axes $\frac{1}{a}$, $\frac{1}{b}$, $\frac{1}{c}$ de l'ellipsoïde, à l'aide de la formule connue:

$$\operatorname{tg}^2 V = \frac{\frac{1}{a^2}}{\frac{1}{c^2}} \, \frac{\frac{1}{c^2} - \frac{1}{b^2}}{\frac{1}{b^2} - \frac{1}{a^2}} = \frac{b^2 - c^2}{a^2 - b^2}.$$

$a^2 > b^2 > c^2$ caractérisent les inverses des élasticités propres aux directions oX oY, oZ.

Or, si l'élasticité est plus grande suivant l'axe des X, un rayon se propageant suivant oZ et vibrant suivant oX a une vitesse de propagation V_x plus grande et un indice de réfraction plus petit que la vitesse ou l'indice d'un rayon oX vibrant suivant oZ. Appelons 1 la vitesse de propagation dans l'air et $n_x = \frac{1}{V_x}$, ici $n_x = n_p$, l'indice de réfraction pour un rayon oX que nous supposons vibrant suivant oZ, $n_z = \frac{1}{V_z}$, ici $n_z = n_g$, l'indice de réfraction pour le rayon oZ vibrant suivant oX enfin $n_y = \frac{1}{V_y}$, ici $n_y = n_m$, l'indice pour les vibrations OY ; on mesure les indices de réfraction de ces rayons qui suivent les lois de Descartes, tant qu'ils restent dans les plans ZoY, XoY, ZOX; mais on a :

$$V_x = \sqrt{\frac{a^2}{d}}, \qquad V_y = \sqrt{\frac{b^2}{d}}, \qquad V_z = \sqrt{\frac{c^2}{d}}.$$

Remplaçant a, b, c par les valeurs n_x, n_y, n_z,

$$\text{tg}^2 V = \frac{n_x^2}{n_z^2}\,\frac{n_z^2 - n_p^2}{n_y^2 - n_x^2} = \frac{n_p^2}{n_g^2}\,\frac{n_g^2 - n_m^2}{n_m^2 - n_p^2},$$

eu appelant n_g le plus grand, n_p le plus petit indice et n_m l'indice moyen de réfraction.

Mais, le plus souvent, il est impossible, même avec la plus grande patience, de tailler dans les cristaux d'une même espèce minérale, toujours très petits, surtout lorsqu'ils sont suffisamment homogènes, trois biseaux prismatiques à arêtes parallèles à leurs axes.

Angle apparent. — Pratiquement, on est souvent réduit à tailler une plaque perpendiculaire à la bissectrice de l'angle aigu des axes et à mesurer la distance angulaire des foyers des lemniscates.

Or, si un rayon parallèle à la direction oV, celle de l'axe optique, sort de la lame, il subit dans l'air une déviation qui l'écarte de la normale oA suivant VF.

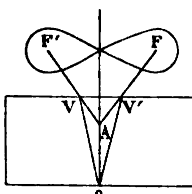


Fig. 147.

On mesure donc l'angle FAF' qu'on nomme l'*angle apparent* des axes et non l'angle VoV' qui serait l'*angle réel* de ces directions. Mais déjà ce caractère est précieux pour le minéralogiste, quel qu'il soit (fig. 147).

Mesure de l'angle réel des axes au moyen de leur angle apparent. — Désignons par 2f l'angle réel fof', par 2F l'angle apparent FPF'; on connait à la fois 2F et l'indice de réfraction moyen n_y (fig. 148). Dans cette figure on a appelé of, of' les lignes oV, oV' de la figure précédente. L'axe optique fo, étant une direction normale à une section circulaire, est parcouru par deux rayons de vitesse égale, et ceux-ci sortent superposés suivant fF; celui qui vibre suivant l'axe oY obéit aux deux lois de Descartes et permet de me-

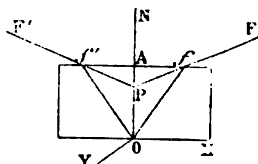


Fig. 148.

surer l'indice de réfraction n_m. Donc, n_m étant constant, l'on a :

$$n_m = \frac{\sin F}{\sin f}.$$

Mesure des grands angles. — Souvent l'angle apparent dans l'air est trop grand pour être mesuré. Lorsqu'il dépasse 130°, on opère dans l'huile d'olive, dont l'indice de réfraction assez considérable dévie beaucoup moins que l'air le rayon sorti du cristal.

Soit $n_h = 1,457$ l'indice de réfraction de l'huile d'olive, H le demi-angle apparent des axes dans l'huile, b leur demi-angle réel, n_m l'indice de réfraction moyen du cristal dans l'air.

Le rapport $\frac{\sin f}{\sin H}$ est égal au rapport des vitesses dans le cristal et dans l'huile, et, comme les indices de réfraction sont inversement proportionnels à ces vitesses, le rapport $\frac{\sin f}{\sin H}$ est égal au rapport inverse des indices de réfraction n_m et n_h. On peut donc écrire :

$$\frac{\sin f}{\sin H} = \frac{n_h}{n_m}.$$

On ne peut pas toujours mesurer n_m. Lorsque l'angle aigu réel des axes $2f$ n'est pas très éloigné de 90°, on prend deux plaques du cristal perpendiculaires, l'une à la bissectrice aiguë, l'autre à la bissectrice obtuse de l'angle des axes. Soit une première plaque (fig. 149) normale à la bissectrice aiguë No_a, et H_a, H_a' les foyers des lemniscates visibles dans l'huile d'olive à travers cette plaque, $f_a o f_a'$ étant l'angle réel aigu $2f_a$ des axes, $H_a'PH_a$ l'angle aigu apparent de ces axes dans l'huile.

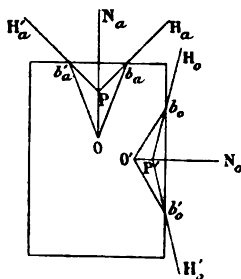


Fig. 149.

On a : $$\frac{\sin H_a}{\sin f_a} = \frac{n_h}{n_m}.$$

Soit une deuxième plaque, même figure, normale à la bissectrice obtuse $N_o o$ et H_o, H_o' les foyers des lemniscates visibles dans l'huile à travers cette seconde plaque ; $f_o o f_o'$ étant l'angle réel obtus $2 f_o$ des axes, $H_o P' H_o'$ l'angle obtus apparent de ces axes dans l'huile.

On a :

$$\frac{\sin H_o}{\sin f_o} = \frac{n_h}{n_m}.$$

D'où

$$\frac{\sin f_a}{\sin f_o} = \frac{\sin H_a}{\sin H_o}.$$

Mais l'angle obtus des axes est complémentaire de leur angle aigu et

$$\sin f_o = \cos f_a. \qquad \text{Donc} \qquad \operatorname{tg} f_a = \frac{\sin H_a}{\sin H_o}.$$

CHAPITRE IX

APPAREIL POUR LA MESURE DE L'ANGLE DES AXES.

L'instrument pour la mesure de l'angle des axes consiste en un microscope d'Amici, dont on remplace le condenseur par un gros nicol donnant le plus de champ possible. Entre ce nicol et l'objectif on place la lame cristalline, taillée perpendiculairement à sa bissectrice aiguë et montrant les lemniscates, collée sur une lame de verre, qui est saisie elle-même dans une pince. Ordinairement, le cercle divisé qui sert à la mesure est placé sur un support horizontal au centre duquel on a ménagé une ouverture qui permet d'introduire verticalement la pince et la lame de verre sur laquelle est collé le cristal. Mais celui-ci est collé de façon à ce que la bissectrice obtuse soit perpendiculaire aux bords verticaux de la petite lame de verre et devienne, par conséquent, horizontale ou parallèle au cercle divisé, lorsque la pince est en place.

Le plus ordinairement on place le nicol polariseur à 45° de l'horizon et l'analyseur en croix, en sorte que la bissectrice obtuse VV' de la lame est à 45° des nicols tout en restant horizontale et que la plaque montre les lemniscates et les hyperboles (fig. 150). On n'a donc qu'à amener successivement les deux sommets des branches d'hyperbole sur l'axe optique de l'instrument en regard du point de croisement de deux fils ou de deux traits marqués sur une lame de verre et placés au foyer de l'oculaire. La pince, en tournant, entraîne un vernier circulaire qui permet de lire les positions où se trouve la lame cristalline quand on amène aux points indiqués plus haut les sommets de l'hyperbole et de connaître par différence l'angle dont on a tourné le vernier.

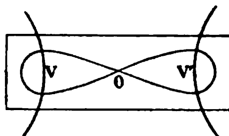


Fig. 150.

Entre l'objectif et le nicol on dispose un support qui permet de placer verticalement une petite cuve à faces bien parallèles. C'est dans cette cuve qu'on met l'huile ou des liquides d'indice de réfraction encore plus considérables où l'on immerge le cristal pour en rapprocher les axes apparents des axes réels. On peut aussi chauffer la lame cristalline en la plaçant entre des pinces en fer convenables.

Action de la température sur l'angle et sur la position du plan des axes. — Dans un très grand nombre de substances cristallisées, l'angle des axes varie peu avec la température. Dans d'autres, au contraire, il présente des variations énormes. Dans le gypse, par exemple, les axes optiques sont assez écartés dans le plan de symétrie à la température ordinaire; mais, si on pose la plaque de gypse sur une lame de cuivre percée d'un trou pour laisser passer la lumière et que cette lame soit assez large pour être chauffée à ses extrémités pendant qu'elle repose sur le porte-objet du microscope d'Amici, on voit, en chauffant la lame de cuivre au moyen de lampes à alcool, les axes se rapprocher peu à peu; si on arrête l'action de la température en retirant les lampes avant le moment où les axes sont tout à fait réunis, on voit les deux branches d'hyperbole se

transformer peu à peu en croix noire, les axes se rouvrir ensuite dans un plan perpendiculaire à leur plan primitif et la dispersion devenir horizontale. Au fur et à mesure que le refroidissement s'opère, les axes se réunissent de nouveau, puis reprennent leur plan et leur écartement primitifs.

Le feldspath orthose présente une dispersion horizontale; mais si la température en est portée à 400°, les axes se rapprochent de plus en plus et la dispersion devient inclinée. Si la température est encore plus élevée et maintenue quelque temps, la dispersion reste inclinée, même après refroidissement, ce qui peut faire comprendre pourquoi l'orthose des granites offre la *dispersion horizontale* et celle des trachytes des bords du Rhin la *dispersion inclinée* (Des Cloizeaux).

Dans le groupe des micas, l'angle des axes varie à la température ordinaire, dans des conditions dont la loi s'il y en a une, nous échappe, depuis un angle que sa petitesse rend incommensurable, jusqu'à environ 70°. Il est vrai que les combinaisons chimiques revêtues des formes et des propriétés inhérentes à ces formes qui composent le groupe des micas sont très variées; mais on n'a pas encore pu saisir de relations entre la composition chimique et la variation des angles des axes optiques dans ce groupe, comme dans quelques autres. Aussi beaucoup de minéralogistes divisent-ils ces matières en micas orthorhombiques et micas hexagonaux. Les propriétés thermiques montrent pourtant que tous les micas sont orthorhombiques peut être quelquefois optiquement clinorhombiques et que, s'ils atteignent la limite qui les sépare des formes hexagonales, tous au point de vue cristallographique et presque tous au point de vue optique, les propriétés calorifiques les maintiennent tous également dans le système orthorhombique. Le caractère du signe optique positif ou négatif échappe souvent aussi. L'apophyllite, par exemple, substance quadratique ou uniaxe, est positive à une extrémité, négative à l'autre.

Dans quelques cristaux, les plans déterminés par les axes des différentes couleurs ne sont pas orientés de même par rapport aux

plans cristallographiques à la même température. Les plans des axes bleus pourront se trouver, dans certains cas, rares, il est vrai, dans la brookite, par exemple, à 90° ou à peu près de celui des axes rouges. On devra donc indiquer, en parlant d'un caractère, la température à laquelle il est observé. Quand on ne fait pas spécialement mention de celle-ci, c'est qu'on observe à la température moyenne du lieu.

Dans la zoïsite, les axes sont situés dans des plans rectangulaires, pour la même couleur, à la même température, suivant les échantillons.

CHAPITRE X

DETERMINATION DU SIGNE OPTIQUE DES CRISTAUX.

§ 1. — CRISTAUX UNIAXES.

Soit un cristal uniaxe, appartenant à l'un des systèmes quadratiques ou hexagonaux ; taillons dans ce cristal un prisme dont l'arête réfringente soit parallèle à l'axe. Faisons tomber sur ce prisme un rayon RI dans le plan d'incidence déterminé par le rayon RI et la normale à la face AB du prisme (fig. 151); le rayon RI se dédouble dans le prisme en deux rayons II_e, II_o, qui vibrent, le premier parallèlement à l'axe, perpendiculairement au plan d'incidence (rayon extraordinaire), le second dans le plan d'incidence, perpendiculairement à l'axe. Les deux rayons gardent tous les deux une vitesse constante et suivent les deux lois de Descartes. On peut donc mesurer leurs indices de réfraction dans ce plan ; on les éteint l'un après l'autre au moyen d'un écran. A l'aide d'un polarisateur dont

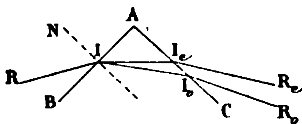


Fig. 151.

on dirige l'axe ou la section principale parallèlement au plan d'incidence, on éteint le rayon extraordinaire; en dirigeant la section principale du polariseur perpendiculairement au plan d'incidence, on éteint le rayon ordinaire. La figure ci-contre convient aux cristaux où le rayon ordinaire se propage plus rapidement que l'extraordinaire (fig. 152). Le plan d'incidence NIR est le plan équatorial de la surface d'onde où les deux rayons présentent les vitesses les plus différentes, mais constantes toutes les deux. Ces cristaux sont appelés négatifs. V_o représentant la vitesse du rayon ordinaire et V_e celle du rayon extraordinaire, on a entre V_o et V_e une différence *négative*. La vitesse du rayon ordinaire étant la plus petite, il est plus rapproché de la normale dans le cristal. On peut citer, comme exemple de cristal à un axe négatif, le calcaire.

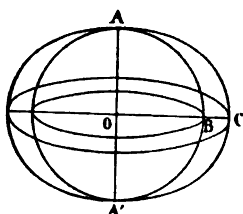


Fig. 152.

Dans le quartz, le rayon ordinaire se propage plus vite que l'extraordinaire; l'ellipsoïde est allongé (fig. 153).

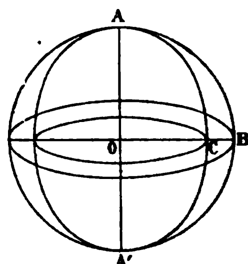


Fig. 153.

Dans des cristaux de ce signe optique, le rayon réfracté extraordinaire se rapproche plus que l'ordinaire de la normale. La différence $V_o - V_e$ est *positive* (fig. 154).

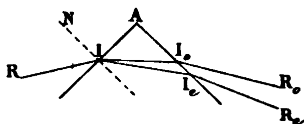


Fig. 154.

Dans les cristaux positifs l'axe a la plus petite élasticité; car, si on prend une des directions perpendiculaires à l'axe, des deux rayons qui la suivent, celui qui vibre parallèlement à l'axe, c'est-à-dire l'extraordinaire, a une vitesse plus petite que l'ordinaire qui vibre dans le plan équatorial.

Si on appelle 1 la vitesse de propagation de la lumière dans l'air, V_o et V_e les vitesses dans le cristal, n_o et n_e les indices de réfrac-

tion des deux rayons ordinaire et extraordinaire, on a pour les cristaux positifs :

$$\frac{1}{V_o} = n_o < \frac{1}{V_e} = n_e$$

et pour les négatifs $n_o > n_e$.

Souvent on exprime le caractère d'une autre manière ; on désigne par n_g l'indice le plus grand, par n_p le plus petit, et l'on dit que n_g ou la plus petite élasticité caractérise l'axe dans les cristaux positifs et les directions équatoriales dans les cristaux négatifs.

§ 2. — CRISTAUX BIAXES.

1er *Procédé. Cristaux à deux axes.* — On taille dans le cristal trois biseaux, dont les arêtes réfringentes doivent être parallèles aux trois axes d'élasticité, *oa*, *ob*, *oc* (fig. 155). On mesure l'indice de réfraction propre à chacun de ces axes au moyen d'un rayon polarisé en dirigeant l'axe parallèlement aux vibrations du rayon et en faisant mouvoir le rayon dans un plan perpendiculaire à l'arête réfringente. On peut appliquer la formule

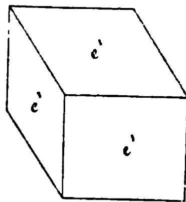


Fig. 155.

$$n = \frac{\sin\frac{\alpha+\delta}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$, n désignant l'indice de réfraction, α l'angle du prisme et δ l'angle de déviation minimum, puisque le rayon assujetti aux conditions précédentes suit dans le cristal les lois de Descartes. On obtient ainsi trois indices, l'un, n_g, plus grand ; l'autre moyen, n_m, et le troisième, n_p.

Les indices étant inverses des vitesses et des coefficients d'élasticité a, b, c, qui caractérisent chacun des axes, on voit lequel présente la plus grande ou la plus petite ou la moyenne valeur. Deux de ces axes sont l'un la bissectrice aiguë, l'autre la bissectrice obtuse. C'est en général de la bissectrice aiguë qu'on indique le signe

comme caractéristique d'une espèce minérale; c'est, en effet, cette bissectrice qui s'éloigne le moins de l'axe optique des cristaux uniaxes, si on imagine que les deux axes optiques, en se rapprochant de plus en plus, finissent par se confondre en un seul.

Procédés pratiques. — Le procédé de la mesure directe des indices de réfraction mène à une détermination infaillible de la détermination du signe optique des trois axes d'élasticité; mais il exige qu'on taille des prismes, opération coûteuse et souvent impossible pour de trop petits cristaux; qu'on fasse des mesures, opération toujours longue et plus ou moins pénible. On se sert, pour le détermination du signe des cristaux, soit du quartz compensateur, soit du mica quart-d'onde.

Lames de quartz compensatrices. — Ce sont des lames dont une face est rigoureusement parallèle à l'axe OZ et dont la seconde est inclinée sur la première d'un angle insensible, de 1° ou de 2°, ou même de 3°, rarement de 4° (fig. 156).



Fig. 156.

Le quartz est positif; l'axe optique OZ a l'élasticité minimum; la vitesse de propagation v_o du rayon ordinaire qui vibre perpendiculairement à l'axe optique est plus grande que la vitesse v_e du rayon extraordinaire.

Lames quart-d'onde. — On donne ce nom à des lames, ordinairement de mica, d'une épaisseur telle que les deux rayons, issus d'un même incident polarisé, ont une différence de phase $\varphi = \frac{\lambda}{4}$, quand ils en sortent. Soit une lame d'un cristal biaxe à faces parallèles à la bissectrice obtuse oX et à la ligne moyenne oY, perpendiculaire par conséquent à la bissectrice aiguë oZ de l'angle des axes optiques oV et oV'.

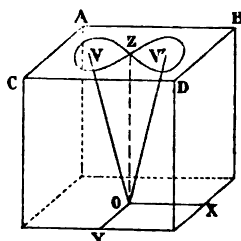


Fig. 157.

Un rayon polarisé tombant perpendiculairement sur la lame ABCD se dédouble en deux (fig. 157); au sortir de la lame, le mouve-

ment décrit une trajection elliptique, dont l'équation est :

$$\frac{n^2}{a^2\cos^2\omega} + \frac{y^2}{a^2\sin^2\omega} - \frac{2\,xy}{a^2\sin\omega\cos\omega}\cos 2\,\pi\varphi = \sin^2 2\,\pi\varphi.$$

Si dans cette équation l'on pose $2\,\pi\varphi = \frac{\pi}{2}$

ou $\varphi = \frac{1}{4} = \frac{n - n_o}{\lambda} h$ d'où $h = \frac{\lambda}{4\,(n_e - n_o)}$

$$\cos 2\,\pi\varphi = 0 \qquad \sin 2\,\pi\varphi = 1,$$

l'équation devient :

$$\frac{x^2}{a^2\cos^2\omega} + \frac{y^2}{a^2 + \sin^2\omega} = 1.$$

Lorsqu'on dirige la lame de façon que sa bissectrice obtuse oX soit à 45° des vibrations sorties du polariseur, on a :

$$\frac{x^2}{a^2\cos^2 45^\circ} + \frac{y^2}{a^2\sin^2 45^\circ} = 1 \qquad x^2 + y^2 = a^2\sin^2 45^\circ = \frac{a^2}{2}.$$

Le mouvement, au sortir de la lame, devient donc circulaire, et il équivaut à deux vibrations rectangulaires entre elles, d'égale intensité, parallèles aux sections principales de la lame, entre lesquelles il y a une différence de phase d'un quart de longueur d'onde. Dans le mica, la bissectrice aiguë oZ est négative, l'obtuse oX positive, et la ligne moyenne est intermédiaire pour le signe, comme pour la position.

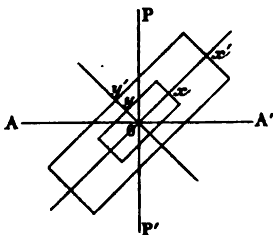


Fig. 158.

On emploie le quartz compensateur ou le mica quart-d'onde, soit en lumière parallèle, soit en lumière convergente.

1° **En lumière parallèle.** — Supposons une lame taillée à peu près parallèlement au plan de deux des axes d'élasticité, ox, oy (fig. 158).

On peut toujours retrouver les directions de ces lignes sur le plan de la lame, en plaçant celle-ci entre les sections principales

AA′ et PP′ croisées d'un analyseur et d'un polariseur, puisque les axes de la lame sont parallèles aux sections AA′ et PP′, lorsque la rotation de la lame dans son plan l'amène a l'extinction. Les axes étant déterminés, on tourne la lame de façon à ce qu'ils se trouvent à 45° des sections AA′, PP′, pour obtenir le maximum d'intensité; puis on introduit une lame de mica quart-d'onde, en dirigeant ses axes parallèlement à ceux de la lame qu'on étudie. Les axes des deux lames, celle de mica et celle qu'on veut déterminer, étant parallèles, les différences de phase φ et φ' qu'elles impriment aux deux rayons concomitants, issus d'un même incident, qui les traversent, s'ajoutent ou se retranchent, suivant que les axes parallèles sont de même signe ou de signes contraires, et, comme φ est proportionnelle dans une lame à son épaisseur, on peut dire aussi que la lame de mica se comporte comme si elle augmentait l'épaisseur lorsque ses axes ont le même signe que ceux de l'autre lame soumise à l'observation, comme si elle la diminuait lorsqu'elle a des signes optiques différents.

Pour préciser les idées, puisque la bissectrice obtuse du mica, celle qui joint les foyers de ses deux systèmes d'anneaux, est positive, supposons que la lame observée montre une teinte jaune, lorsqu'elle se trouve seule à 45° entre les nicols croisés; si on la voit prendre la teinte rouge du même spectre par l'addition de la lame de mica, c'est que son axe *o*X est positif comme la bissectrice obtuse *o*X′ du mica qui lui est parallèle. L'axe *o*Y′ du mica, étant glissé parallèlement à l'axe *o*X, en fera baisser la teinte vers le bleu du même spectre, puisqu'il est de signe contraire.

Ordinairement, on colle la lame de mica sur une lame de verre en ayant soin que la trace du plan de ses axes, c'est-à-dire sa bissectrice obtuse, soit à 45° du long côté du verre; quand on glisse cette lame de droite à gauche dans une rainure dont le microsope est percé, suivant la face qu'on place en dessus, sa bissectrice obtuse se trouve parallèle ou perpendiculaire à l'un des axes de la lame.

2° En lumière convergente. Cristaux uniaxés. 1er *Procédé.*

— A la plaque taillée perpendiculairement à l'axe, on en superpose une de signe optique connu, de spath, par exemple, qui est négatif. Si la plaque étudiée est négative, les anneaux se resserrent ; ils se dilatent si la plaque est positive.

2e *Procédé*. — On a recours à la lame de mica quart-d'onde, dont on dirige la bissectrice obtuse oX' à 45° des branches SS', $S_1 S_1'$, de la croix noire, parallèles elles-mêmes aux sections principales des nicols et représentées en lignes ponctuées, ainsi que le premier anneau sombre, sur la figure. Soit (fig. 159) deux points p et q également distants du centre sur la plaque, où la différence de phase des deux rayons concomitants, issus d'un même incident, n'est pas encore $\frac{\lambda}{2}$, mais où elle vaut

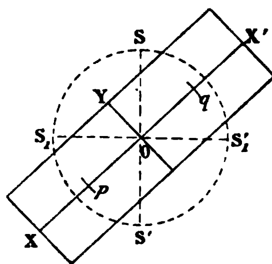


Fig. 159.

précisément $\frac{\lambda}{2}$, lorsqu'on lui ajoute celle qu'apporte le mica quart-d'onde : l'obscurité se produira donc aux points p et q et se dissipera sur le premier anneau sombre, lorsqu'on introduira cette lame quart-d'onde à 45° des sections principales des nicols, c'est-à-dire aux points où les phénomènes ont leur maximum d'intensité, en même temps que la vibration elliptique se décompose en deux vibrations rectangulaires égales. On voit, en effet, que, dans ces conditions, la croix noire disparaît et se trouve remplacée par deux petits arcs noirs, dont les sommets p et q sont placés sur la bissectrice obtuse du mica, si la plaque soumise à l'observation est négative ; c'est qu'en effet, dans ce cas, les directions équatoriales de celles-ci, étant de signe contraire à celui de son axe optique, sont positives comme la bissectrice obtuse du mica ; ou, si on aime mieux, l'axe optique négatif de la lame étudiée et la bissectrice aiguë de la lame quart-d'onde, étant parallèles et de même signe, ajoutent leurs effets dans la différence de phase des rayons qui les traversent et resserrent les anneaux,

comme si elles ajoutaient leurs épaisseurs ramenées à l'équivalence d'effet. Il est évident que, si la lame observée est positive, c'est sur la ligne moyenne oY de signe contraire à oX qu'apparaîtront les petites taches noires remplaçant la croix (fig. 160).

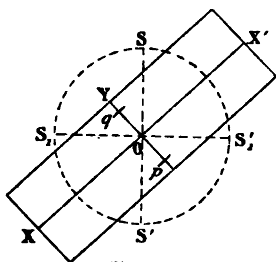


Fig. 160.

Règle mnémotechnique. — La ligne qui joint les points p et q croise la bissectrice obtuse XX' du mica, formant avec elle le signe algébrique + dans les cristaux positifs; elle est superposée à cette bissectrice, formant comme elle le signe — dans les cristaux négatifs.

Lames parallèles à l'axe. — Ordinairement, la lame cristalline parallèle à son axe AA' est trop épaisse, pour qu'on puisse y observer des couleurs. Promenons au-dessus de cette lame de quartz, une de celles décrites plus haut, p. 162, dont l'axe optique est oZ. Si l'axe AA' est de signe contraire à oZ, c'est-à-dire *négatif*, l'introduction de la lame de quartz produit le même effet qu'une diminution d'épaisseur et fait apparaître des couleurs, lorsque l'axe AA' est parallèle à oZ, et, comme on a donné à la face XZ une certaine inclinaison sur oZ, on voit qu'au fur et à mesure qu'on promène oZ sur AA' on augmente l'épaisseur de quartz opposée à l'épaisseur constante de la lame en M, par exemple. On parviendra donc avec une des lames de quartz différemment inclinées à trouver l'épaisseur de quartz nécessaire pour le développement d'une coloration.

Lorsque l'axe de la lame cristalline AA' est de même signe que celui du quartz, c'est-à-dire *positif*, on promène ce dernier perpendiculairement à AA'.

Cristaux à deux axes. *Lame perpendiculaire à la bissectrice aiguë.* — On dirige la lame qui montre les lemniscates entre deux nicols croisés, de façon que la ligne VV' soit à 45° des sections des nicols, position où l'on voit des hyperboles. On glisse

parallèlement à VV′ une lame de quartz prismatique *o*Z; on voit les anneaux se *dilater*, aller pour ainsi dire vers le centre où ils disparaissent successivement les uns dans les autres (fig. 161). Donc, la lame de quartz produit une diminution d'épaisseur, et son axe *o*Z est de signe contraire à l'axe *o*V; donc, celui-ci est négatif; mais OV est la bissectrice obtuse, de signe contraire à la bissectrice aiguë; par conséquent, celle-ci a le signe de *o*Z et est *positive*.

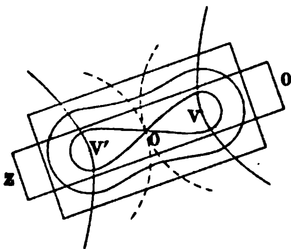


Fig. 161.

Si la bissectrice aiguë de la lame essayée est *négative*, il faut, pour observer le phénomène décrit ci-dessus, introduire la lame de quartz transversalement ou perpendiculairement à VV′.

Plaques perpendiculaires à la bissectrice obtuse. — Mêmes phénomènes, mais avec des interprétations inverses.

Des constantes optiques. — Certains caractères sont fixes dans les espèces cristallines, les indices de réfraction, par exemple, correspondant aux trois directions principales ou axes d'élasticité optiques, et la grandeur relative des angles des axes optiques des différentes couleurs, exprimée par le symbole $\rho \gtrless v$ (voir p. 141). D'autres, au contraire, tout en étant généralement constants, ne laissent pas que de varier avec la température et quelquefois mêmes sous des influences encore inconnues. Telles sont les angles des axes optiques et le signe positif ou négatif des axes d'élasticité. Nous avons vu précédemment que l'angle des axes change avec la température, et cela est vrai d'un assez grand nombre d'espèces minérales ou chimiques non encore observées dans la nature. L'angle des axes peut même varier dans des conditions encore inconnues, ou au moins suivant des lois compliquées qui nous échappent. L'apophyllite n'a pas toujours le même signe optique aux deux extrémités d'un même cristal.

M. Dufet a publié de nombreuses recherches sur la mesure des

indices de réfraction, si importante à établir avec précision pour la théorie des cristaux. On peut lire dans le *Bulletin de la Société française de minéralogie*, t. IX et suivants, son excellent mémoire où il a consigné ses nombreux résultats et décrit son appareil.

M. Wyrouboff a construit de son côté un appareil propre à l'observation des variations que les caractères optiques subissent dans les cristaux au fur et à mesure qu'on les échauffe.

CHAPITRE X

PLÉOCHROISME

Pléochroïsme. — Les cristaux colorés, soit à cause des éléments colorants dont ils sont composés, soit par des matières étrangères dont ils sont teints pour ainsi dire, peuvent présenter des colorations différentes suivant la direction où on les regarde, quand ils n'appartiennent pas au système cubique. Parmi les vibrations, des différentes lumières qui leur sont parallèles, leurs axes d'élasticité en laissent passer un certain nombre et absorbent les autres. La pennine, par exemple, se laisse traverser dans la direction de l'axe par des rayons d'un bleu mêlé de vert et perpendiculairement à l'axe par des rayons d'un rouge orangé. Comme il a été dit plus haut, un rayon perpendiculaire à l'axe se divise en deux, dont l'un vibre perpendiculairement et l'autre parallèlement à l'axe; les vibrations parallèles et les perpendiculaires perdent chacune, en traversant le cristal, des proportions différentes de leurs différentes couleurs. L'andalousite orthorhombique paraît d'un vert d'huile quand on la regarde latéralement, d'un vert olive à travers h^1, d'un rouge verdâtre à travers ses bases. Les chloritoïdes varient du bleu indigo au vert suivant la direction. En général, à travers les faces d'un cristal, on observe des cou-

leurs qui proviennent du mélange de celles que les axes laissent passer.

Loupe dichroscopique d'Haidinger. — On doit à Haidinger un petit instrument appelé *loupe dichroscopique* qui permet d'observer deux images à travers chaque face, et, si l'on choisit une face parallèle à deux axes d'élasticité, on observe les colorations de ces axes (fig. 162). Cette loupe se compose d'un rhomboèdre de spath S obtenu par clivage, fixé au moyen d'un anneau de liège dans un petit tube en laiton, de façon que quatre des faces formant les pans d'un parallélipipède soient parallèles à l'axe du tube, qui porte à un bout une plaque métallique percée dans l'axe d'une ouverture carrée et qui s'emboite à l'autre extrémité dans un tube plus court pouvant tourner sur lui-même, portant une lentille L et percé d'une ouverture circulaire. Sur les deux faces du spath S, sont appliqués des prismes de verre *a*, d'environ 18°, qui permettent à l'ensemble des pièces transparentes d'être terminé aux deux bouts par des faces *b*, perpendiculaires à l'axe du tube.

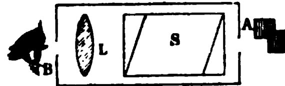


Fig. 162.

On place l'œil devant l'ouverture circulaire et le cristal qu'on veut examiner devant l'ouverture opposée.

Supposons que ce soit la lame de pennine, dont nous venons de parler plus haut, dont l'axe AA' est placé verticalement.

Dirigeons verticalement la section principale *aa'* du spath. Les vibrations de la pennine parallèles et perpendiculaires à la section principale AA' de la pennine restent parallèles et perpendiculaires à celle *aa'* du spath (fig. 163); mais les deux rayons extraordinaire et ordinaire qu'elles engendrent se séparent et se montrent chacun avec leur coloration. Les dimensions de l'ouverture et du spath sont choisies de manière que les deux images de l'ouverture, colorées chacune par un des rayons,

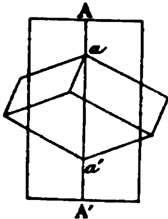


Fig. 163.

soient séparées en n'empiétant l'une sur l'autre que par un de leurs angles. En ce coin, on observe leur mélange. En tournant le petit tube qui porte le spath devant l'œil, on voit les images échanger leurs couleurs; à 45°, elles ont les mêmes teintes; c'est le rayon ordinaire qui tourne, comme toujours, autour de l'extraordinaire.

A l'aide de cet instrument, on peut observer la couleur des axes d'élasticité dans les lames cristallines parallèles à deux de ces axes.

Le pléochroïsme dans les sections minces. — Pour observer la couleur des axes d'élasticité, surtout dans les sections minces, on peut mettre sur la platine du microscope à lumière parallèle une lame du cristal qu'on étudie contenant deux de ces axes ; on enlève l'analyseur ; on tourne la lame de façon à diriger un des axes parallèlement à la section principale du polariseur; on observe ainsi la coloration de cet axe. En tournant de 90°, on verrait la coloration de l'axe perpendiculaire.

Babinet a trouvé une loi souvent vraie; c'est que les teintes les plus sombres caractérisent les vibrations qui se propagent le plus lentement, parallèles par conséquent à l'axe de plus petite élasticité et correspondant au plus grand indice de réfraction. Soit n_g le plus grand indice, n_m le moyen, n_p le plus petit ; *a* l'axe antérieur, horizontal dans les cristaux à base perpendiculaire aux pans ; *b* l'axe incliné d'arrière en avant dans les monocliniques, *c* l'axe vertical. *a* est un des axes équatoriaux et *c* l'axe vertical dans les cristaux à un axe ; les tableaux suivants résument les colorations des axes dans un certain nombre d'espèces pléochroïques.

Ces caractères permettent de distinguer immédiatement l'amphibole hornblende de l'augite en sections minces, l'amphibole s'éteignant à peu près suivant la longueur et l'augite offrant en général un dichroïsme à peine sensible, quelle que soit l'orientation de ses axes par rapport au polarisateur.

Uniaxes. — *Couleurs des rayons qui vibrent parallèlement*

	à l'axe optique c	*à l'un des axes a.*
Tourmaline	presque incolore (n_p)	brune, bleue, bleue verdâtre (n_g).
Pennine	rouge (n_p)	verte (n_g).
Micas noirs	brun pâle (n_p).	brun foncé (n_g).
Quelques zircons	vert jaunâtre (n_g)	brun de girofle (n_p).
Saphir	blanc verdâtre (n_p).	bleu de Prusse (n_g).
Emeraude de Muso	vert jaunâtre (n_p)	vert pur (n_g).
Quelques apatites	vert de montagne (n_p).	bleue (n_g).

Orthorhombiques. — *Couleurs des rayons qui vibrent parallèlement*

	à l'axe c	*à l'axe b*	*à l'axe a*
Cordiérite	bleu jaunâtre (n_p).	bleu foncé (n_g)	blanc bleuâtre (n_m)
Quelques hypersthènes	brun rouge (n_g)	brun jaune (n_m)	brun jaunâtre (n_m)
Staurotide	jaune pâle (n_p).	jaune d'or (n_g)	jaune pâle (n_m)

Clinorhombiques. — *Couleurs des rayons qui vibrent suivant les axes d'élasticité les plus voisins des axes cristallorgaphiques*

	c	*b*	*a*
Actinote	vert pâle } (n_g) à 12 ou 15° de c et en avant	jaune pâle } (n_g) perpendiculairement à n_p	jaune pâle } (n_m)
Hornblende	vert foncé bleuâtre	vert jaunâtre	vert franc
Hornblende ferrifère	brun foncé	brun pâle	brun
Pargasite	vert foncé ; rosé	verdâtre	verdâtre
Glaucophane	bleue (n_g).	jaune pâle (n_p)	violet (n_m).
Dial age	verdâtre pâle (n_g).	verdâtre pâle (n_p)	jaunâtre pâle (n_m).
Quelques augites	vert à 40° en avant de c (n_g).	vert à 90° de ng (n_p)	rougeâtre (n_m).
Quelques épidotes	verdâtre (n_g)	jaunâtre à 90° de c (n_p).	brunâtre (n_m).
Piémontite	rouge vif (n_g)	orangée (n_p)	améthyste (n_m).
Thulite	jaune (n_g)	rose clair (n_p)	rose vif (n_m).
Sphène	rouge jaunâtre à 40° de c (n_g)	jaune pâle, perpendiculaire à n_g	rouge verdâtre (n_m).

CHAPITRE XI

HOUPPES

Houppes. — Lorsqu'on regarde normalement à un axe optique des cristaux d'épidote, d'andalousite, de cordiérite, d'axinite très polychroïques, on aperçoit sur un fond d'une couleur des figures d'une couleur différente qui ont la forme d'hyperboles. Comme l'a observé M. Émile Bertrand, ces figures peuvent se montrer dans des cristaux biaxes très polychroïques tout aussi bien que dans les uniaxes. M. Émile Bertrand en a donné l'explication la plus simple. Soit une plaque de platinocyanure de magnésium; cette substance est quadratique. On sait qu'une plaque perpendiculaire à l'axe laisse passer des rayons rouges et en même temps des bleus et des violets, tandis qu'une place parallèle ne laisse passer que du rouge. Si on prend une plaque perpendiculaire à l'axe, on verra du rouge à l'extrémité de l'axe; mais, au fur et à mesure que le rayon transmis s'éloigne de l'axe, il suit des directions où l'absorption du bleu et du violet devient de plus en plus considérable, et le rouge domine de plus en plus. On aura donc un disque de plus en plus sombre sur le fond plus éclairé de la plaque.

Le phénomène a été découvert par Brewster en 1818.

L'explication en a été très discutée, surtout à cause de la liaison qu'elles semblent avoir, aux yeux de beaucoup de savants, avec les phénomènes d'interférences. Elles sont peu visibles dans les lames très minces qu'on soumet au microscope dans l'étude des roches. Nous les mentionnerons aux espèces où elles sont remarquablement nettes. On pourra suivre avec intérêt les recherches et les études publiées à ce sujet, dans le deuxième volume du Bulletin de la Société française de minéralogie, par Bertin, par Mallard, par MM. Émile Bertrand, Cornu et Friedel. Voyez aussi de Senarmont, *Annales de Chimie et de Physique*, 3[e] série, t. XLI, p. 330 (1854); Biot, *Annales de Chimie*, t. XCI (1815); Haidinger, *Répertoire d'optique* de l'abbé Moigno, t. IV, p. 1587.

CHAPITRE XII

POLARISATION ROTATOIRE

Le quartz ou cristal de roche, le cinabre et quelques cristaux d'autres systèmes, tels que le chlorate de soude cubique, possèdent la propriété curieuse de faire tourner le plan de polarisation de la lumière. Si on interpose, par exemple, entre deux nicols croisés produisant l'extinction une lame de quartz à faces parallèles entre elles et perpendiculaires à l'axe optique, on voit que la plaque se colore, et, si on emploie de la lumière simple, rouge, si on veut, il faut tourner l'analyseur d'un certain nombre de degrés pour retrouver l'extinction. L'angle de déviation est proportionnel à l'épaisseur. Pour l'épaisseur de 1 millimètre, la rotation est de :

18°25'	pour le rouge rouge	. . . .	à $\lambda =$ 0,000628
24°	—	jaune moyen	—— 0,000550
30°2' 1/2	—	vert bleu.	—— 0,000492.
34°44'18	—	indigo	—— 9,000459
44°5'	—	violet extrême	—— 0,000406

On a vu plus haut que, si dans l'équation d'une vibration elliptique on fait $2\pi\varphi = \frac{\pi}{2}$ ou $\varphi = \frac{1}{4}$ et $\omega = 45°$, la vibration est circulaire; cela signifie que la composante tangentielle du mouvement est égale à sa composante centripète. Donc, deux mouvements circulaires égaux, mais de sens inverse, ont pour résultante le diamètre TB du cercle perpendiculaire au point de contact T et bissectrice de l'angle TBT' (fig. 164).

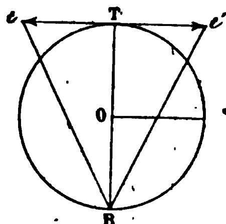


Fig. 164.

Réciproquement, un mouvement vibratoire rectiligne TB équi-

vaut à deux mouvements ctrculaires égaux, mais inverses, le rayon commun aux deux cercles étant égal à la moitié de la ligne qui mesure le mouvement rectiligne. Dans le quartz, les deux vibrations circulaires se propagent inégalement vite.

Soit 2 molécules d'éther entraînées par deux mouvements circulaires d'inégale vitesse; parties du point B au même moment, elles parcourent, l'une dans le sens des aiguilles d'une montre (mouvement dextrogyre) la circonférence entière, plus BC, l'autre en sens inverse, la circonférence entière, moins BC; elle se rencontreront au point C; en C, les 2 vibrations circulaires équivaudront, comme ci-dessus, à 2 vibrations tangentielles qui se neutraliseront et à 2 vibrations centripètes qui s'ajouteront suivant CC'. La vibration rectiligne aura été déviée d'un angle BOC, qui est proportionnel au nombre de tours et à l'épaisseur de la plaque. C'est cet angle BOC qui est de 16°25 pour le rouge, de 44°5' pour le violet extrême dans une plaque de quartz de 1 millimètre d'épaisseur.

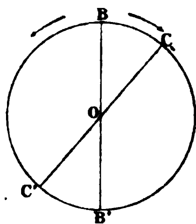


Fig. 165.

Dans une plaque de 5 millimètres d'épaisseur, A*o* étant la section d'un des nicols A*o*R = 90° 5' déviation du rouge, A*o*J_m, A*o*V_{bl}, A*o*V_{iolet} sont les déviations de 120° pour le jaune moyen, 172° pour l'indigo, 222° pour le violet (fig. 166).

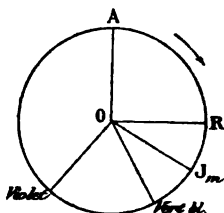


Fig. 166.

Si on opère en lumière rouge, le plan de polarisation est en *o*R; il faut tourner de 90° 5' pour obtenir l'extinction. Si on opère en lumière blanche, entre deux nicols croisés, d'abord on voit des anneaux irisés entourant une plage colorée; si on tourne l'analyseur de 90° vers la droite, le rouge est éteint, la plage centrale est colorée par le mélange des couleurs non éteintes; quand la section *o*A de l'analyseur est à 120° de sa position primitive, c'est le jaune moyen, c'est-à-dire la couleur la plus brillante, qui dispa-

rait, et le mélange prend une couleur lie de vin, bleuâtre, qu'on appelle *teinte sensible*. En déplaçant légèrement la section de l'analyseur vers la droite, la plaque devient rouge, et l'on dit que le quartz est *dextrogyre*. On reconnaîtrait un cristal *lévogyre* à ce caractère que, après avoir amené la section *o*A vers la gauche dans la position où l'on observe la teinte sensible, il faudrait la tourner légèrement vers la gauche pour faire virer la plaque au rouge.

Lorsqu'on superpose deux plaques de quartz de même épaisseur, mais de rotations inverses, on voit les branches de la croix noire réapparaître, mais tordues, en forme de spirales, qu'on nomme *spirales d'Airy*. Ces courbes s'enroulent de gauche à droite, lorsque le cristal lévogyre est placé sur le dextrogyre et *vice versa*.

Le cinabre présente un pouvoir rotatoire quarante fois plus grand que celui du quartz, d'après M. Des Cloizeaux.

L'observation de ce phénomène avait amené Fresnel à penser que le quartz possède une double réfraction suivant son axe. Il avait basé cette hypothèse sur une expérience ingénieuse, décrite dans les traités de physique. Mallard a supposé que le quartz est composé de paquets de lames orthorhombiques empilés de façon à avoir leurs axes tournés l'un par rapport à l'autre d'un même angle toujours dans le même sens. Nous ne pourrions ici discuter cette question utilement pour des applications aux recherches pétrographiques ; car, dans les sections minces, on ne peut plus distinguer la polarisation rotatoire.

CHAPITRE XIII

INSTRUMENTS PARTICULIÈREMENT EMPLOYÉS EN PÉTROGRAPHIE

Comparateur de M. Michel Lévy. — Cet instrument a pour but de mesurer la biréfringence des minéraux avec une assez

grande approximation, même lorsqu'ils sont engagés dans des roches, pourvu qu'ils soient taillés à faces parallèles et qu'on en connaisse l'épaisseur. On a plusieurs moyens de connaître l'épaisseur d'une lame transparente à faces parallèles. L'un d'eux, le plus simple en apparence, consiste à placer successivement au foyer d'un microscope les faces supérieure et inférieure, en abaissant convenablement la lunette au moyen d'un bouton muni d'une vis micrométrique dont le pas est connu ; mais le procédé le plus pratique consiste à faire tailler ensemble, après les avoir collées toutes les deux sur une lame de verre, une plaque de quartz parallèle à l'axe et une plaque de la substance qu'on étudie ou de la roche qui la renferme, à la condition que l'épaisseur de la plaque, une fois taillée, soit assez mince pour que la substance se trouve seule dans la région où on l'observe.



Fig. 167.

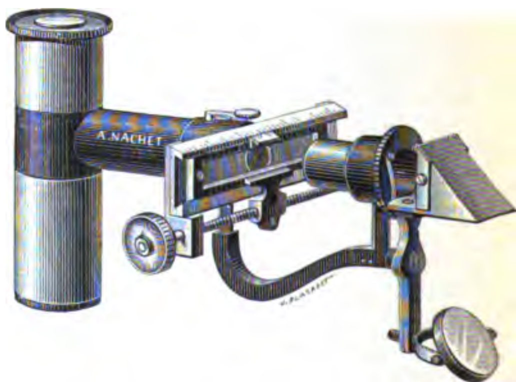


Fig. 168.

Quant au comparateur, il se compose (fig. 167 et 168) : 1° d'un *oculaire* no 1, qu'on adapte sur le microscope de Nachet ou d'un autre constructeur; mais

cet oculaire est modifié de la façon suivante : à son foyer, au lieu du réticule, il porte un prisme à réflexion totale P, dont les côtés sont, l'un parallèle, l'autre perpendiculaire à l'axe optique de l'oculaire, l'hypoténuse étant à 45° de cet axe.

Ce prisme est traversé par un petit cylindre de verre, étroit, vertical, de façon que l'observateur aperçoit tout autour de l'axe un cercle étroit éclairé par les rayons qui se trouvent dans les mêmes conditions que dans un microscope ordinaire, et, autour de ce cercle, un anneau éclairé par des rayons horizontaux que le prisme à réflexion totale renvoie dans l'axe de l'instrument. Latéralement, le tube oculaire porte une petite lunette horizontale qui se compose d'un miroir à surface courbe destiné à envoyer la lumière du jour à un second prisme à réflexion totale C, qui, celui-ci, la réfléchit sur le premier prisme; mais, sur son trajet, cette lumière traverse une lame de quartz A interposée entre deux nicols croisés N, N', de façon à n'arriver à l'oculaire qu'avec une teinte dépendant de la lame de quartz traversée, B est un diaphragme; D une platine tournante, qui entraîne le quartz.

En sorte que, si on place au foyer du microscope sur le porte-objet la substance étudiée, on observe à la fois avec l'oculaire une région annulaire colorée de la teinte que la lame de quartz a donnée à la lumière extérieure, et, entourée par celle-ci, une région centrale, étroite, colorée de la teinte que la plaque prend dans le microscope d'après sa nature, son épaisseur et la direction de ses axes d'élasticité par rapport à l'axe optique du microscope.

Or, la lame de quartz n'est autre qu'un compensateur; elle est taillée en biseau. En face d'elle est disposée, sur l'appareil polariseur latéral, une règle divisée munie d'un vernier, parallèle à sa longueur, et mobile suivant cette direction. La règle divisée ne laisse passer la lumière que par un petit trou dont elle est percée, et le faisceau lumineux très étroit traverse des épaisseurs de quartz différentes suivant la hauteur de la règle mobile dans une glissière, qu'on relève au vernier.

Soit la règle amenée dans deux positions qui donnent à la région

annulaire de l'oculaire colorée par le quartz, de l'oculaire les teintes sensibles de deux gammes successives.

Soit t le nombre des divisions de cette règle correspondant à la teinte n° 1, et t' le nombre correspondant à la teinte sensible n° 2 ; t correspond, pour le premier spectre, à un retard $eX = 0^{mm},000575$; t' correspond, pour le second spectre, à un retard $e'X = 0^{mm},001128$, e étant l'épaisseur de la lame et X un coefficient proportionnel à la biréfringence du quartz.

$$t' - t = 0^{mm},001128 - 0^{mm},000575 = 0^{mm},000553$$

Chaque division d de l'instrument correspond à $\dfrac{0^{mm},000553}{t' - t}$ en millionièmes de millimètres d'épaisseur.

Cherchons maintenant à quelle division de la règle correspond l'paisseur 0 du compensateur; appelons T cette division.

Or, l'épaisseur qui doit donner la première teinte sensible est $0^{mm},000575$, et le nombre de divisions correspondant comptées à partir de l'épaisseur nulle est $\dfrac{0^{mm},000575}{d}$; tandis que, sur la règle graduée arbitrairement, on observe la division t, on voit que la division de la règle qui correspond au bord du biseau de quartz où l'épaisseur est nulle doit être :

$$T = t - \frac{0,000575}{d} = t - \frac{0,000575\,(t' - t)}{0,0011128 - 0,000575}$$
$$= \frac{0,001128\,t - 0,000575\,t'}{0,001128 - 0,000575}.$$

Mesure de la biréfringence. — On pose la matière sur le porte-objet on la met au foyer; on remplace l'oculaire par le comparateur; on éclaire l'appareil latéral au moyen du petit miroir, de façon à ce que l'anneau de lumière arrivée par le quartz autour de la plage centrale soit la plus vive possible; puis on fait glisser la règle divisée jusqu'à ce que les teintes du disque central et de l'anneau extérieur soient identiques; on note la division correspondante au vernier.

Supposons, par exemple, que la règle soit à la 34ᵉ division, lorsque l'anneau extérieur montre le premier lie de vin et à la 64ᵉ lorsque cet anneau a la couleur lie de vin du deuxième spectre.

$$t = 34 \qquad t' = 64 \qquad t' - t = 30$$

$$d = \frac{0,001128 - 0,000575}{30} = 0,0000184$$

$$T = \frac{0,001128 \times 64 - 0,000575 \times 34}{0,001128 - 0,000575} = \frac{1552}{553} = 2,84.$$

Pour que le quartz acquière la teinte de la plaque observée, il faut porter la règle à la division 76 ; mais on doit diminuer ce nombre de 2,84. Soit alors 76 — 2,84 = 73,16 le nombre vrai. Comme chaque division vaut 0,0000184, on a 0,0000184 × 73,16 = 0,001346, et, si on divise ce nombre par l'épaisseur de la plaque, on a sa biréfringence.

Mesure de la biréfringence des lames au microscope par leurs colorations. — Dans la planche coloriée, p. 000, le fond de la figure représente les spectres des premiers ordres; sur les abscisses noires verticales sont comptées les épaisseurs, indiquées par les lignes noires horisontales qui les coupent, depuis $0^{mm},01$ jusqu'à $0^{mm},02$, mais numérotées seulement jusqu'à $0^{mm},1$.

En dessus, l'auteur a énoncé les couleurs principales qui se succèdent dans les différents ordres.

Sur la ligne verticale qui traverse le bleu du deuxième ordre, sont inscrites quelques espèces minérales qui présentent cette couleur entre deux nicols croisés, lorsqu'elles ont l'épaisseur placées en regard de leur nom ; ex. : l'apatite, sous l'épaisseur de $0^{mm},124$, le gypse sons celle de $0^{mm},0609$, le calcaire sous l'épaisseur de $0^{mm},0293$.

Or, l'intensité I de la lumière normale et parallèle qui traverse une plaque à faces parallèles

$$I^2 = \Sigma \sin^2 \frac{h}{\lambda}(n_o - n_e) \qquad \text{où} \qquad n_o = \frac{u}{v_o} \qquad n_e = \frac{u}{v^2}.$$

v étant la vitesse de propagation de la lumière dans l'air, v_o et v_e

les vitesses de propagation des deux rayons concomitants dans le cristal; n_o-n_e sont donc équivalents aux épaisseurs d'air que traverseraient ces rayons pendant les temps qu'ils mettent à parcourir le cristal, en appelant *o* et *c* ces épaisseurs d'air, on peut poser :

$I^2 = \Sigma \sin^2 \pi h (o - e)$ et la formule est identique à celle que Newton a trouvée comme expression des retards ou des différences des chemins parcourus par les rayons dont les interférences produisent les anneaux colorés en lumière blanche naturelle. Ces retards ont été exprimés par Newton en millionièmes de millimètre.

Dans le premier ordre, le gris de fer correspond à 40 millionièmes de millimètre, le gris bleu à 158, le bleu verdâtre à 234, le jaune brillant à 332, le jaune orangé à 505, le pourpre à 565.

Dans le deuxième ordre, le violet sensible no 1 à 575, le bleu à 564, le vert à 747, le jaune pur à 910, l'orangé à 948; dans le troisième ordre, le vert bleuâtre clair sensible, n° 2 à 1128, l'indigo à 1151, le bleu verdâtre à 1258, le vert brillant à 1376, le jaune verdâtre à 1426, le rouge rose à 1495, le carmin pourpre à 1621, et dans le quatrième ordre, le gris violacé sensible no 3 à 1652, le gris bleu à 1682, le vert bleuâtre à 1745, le vert brun clair à 1811, etc.

Il suffit, par conséquent, de placer sous le miscroscope, muni, du comparateur, si on veut observer plus exactement sa coloration, une plaque cristalline à faces perpendiculaires à la ligne moyenne c'est-à-dire contenant dans son plan les lignés d'élasticité extrême; la coloration de la plaque fait connaitre en millionièmes de millimètres le retard $h(n_g - n_p)$; en divisant par l'épaisseur h de la plaque on obtient $n_g - n_p$, c'est-à-dire la biréfringence. Le tableau permet, même étant connue la biréfringence pour une épaisseur connue, de déterminer la nature de la plaque. (Voyez *Les minéraux des roches*, par MM. Michel-Lévy et Lacroix.)

Réfractomètre de M. E. Bertrand. -- Un verre dépoli VM ferme l'extrémité d'un tube en laissant tamiser la lumière

(fig. 169). Des rayons RI, ΛI, tombent sur une lentille demi-boule *ll'* sertie dans une portion MM' de la paroi du tube. Celle-ci est inclinée à 30° sur l'axe du tube CC'. Sur la face plane de cette lentille, on applique une plaque cristalline en interposant entre la lentille et la plaque une couche légère d'un liquide à indice très élevé. A l'extrémité opposée du tube est

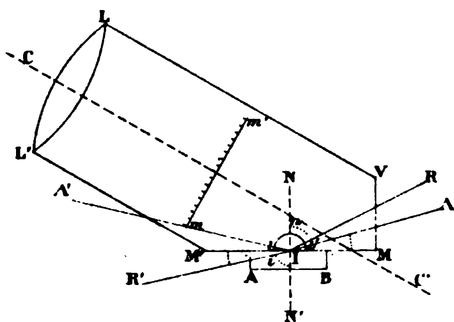


Fig. 169.

une loupe, et, sur l'axe optique de celle-ci, à son foyer, on a placé un micromètre *mm'*. Un rayon RI traverse la lentille demi-boule, le liquide, pénètre dans le cristal MM' et sort suivant I'R' en s'écartant de la normale NN' à la face du cristal MM'. Soit ΛIN l'angle limite de l'huile pour le cristal ; l'indice de l'huile étant supérieur à celui du cristal, tous les rayons compris entre ΛI et IM sont réfléchis totalement, et l'on a une aire éclairée Λ'IM'. Appelons *i'* l'angle R'IN', *r'* l'angle RIN.

$$\frac{\sin i'}{\sin r'} = \frac{v \text{ cristal}}{v \text{ liquide}} = \frac{v \text{ cristal}}{v \text{ air}} \, \frac{v \text{ air}}{v \text{ liquide}} .$$

Soit *n* l'indice du cristal, *n'* celui du liquide :

$$\frac{\sin i'}{\sin r'} = \frac{n'}{n} .$$

Pour qu'il y ait réflexion totale, il faut que $i' = 90°$. Si *n* augmente, pour *i'* et *n'* constants, *r'* augmente. Or, *r'*, c'est l'angle RIN correspondant à la région NIΛ' obscure. Donc, plus l'indice du cristal est grand, plus la région obscure Λ'IM' est vaste. On gradue le réfractomètre par comparaison.

Procédé de Becke. — On doit à Becke un moyen rapide de reconnaître parmi deux matières en contact dans une plaque la

plus biréfringente. En abaissant le condenseur et en unissant même le polariseur d'un diaphragme étroit, de manière à ne laisser passer que de la lumière peu divergente, on voit plus éclairé le côté étroit occupé par la matière la plus réfringente. Ce côté reçoit en effet la lumière qui se trouvait de l'autre avant sa sortie de la plaque et qui a subi en moins grande proportion la réflexion totale.

CHAPITRE XIV

DILATATION DES CRISTAUX PAR LA CHALEUR

Si l'on portait à une température de t° des cristaux taillés en sphères, on verrait tous ceux des systèmes autres que le cubique prendre la forme d'ellipsoïdes, dont les lignes principales auraient avec les axes cristallographiques des relations analogues à celles que présentent les lignes principales optiques. Mitscherlich a le premier constaté sur le calcaire, au moyen d'un goniomètre imaginé par lui en vue de cette étude pour une variation de 100° dans la température, une variation de 10′ dans l'angle dièdre du rhomboèdre, qui se contracte transversalement et se dilate suivant son axe. M. Fizeau a eu recours à une méthode tout à fait différente, aussi ingénieuse que précise. Si l'on place un disque de verre au-dessus d'un petit parallélipipède de la matière étudiée, pour une distance suffisamment petite des deux surfaces, il se produit des franges du genre de celles qu'on appelle anneaux colorés de Newton, et, à mesure que le parallélipipède échauffé se rapproche du disque, les franges deviennent plus serrées. A l'aide d'une lunette, on observe le déplacement des franges qui passent devant un point de repère. On peut observer le déplacement de $\frac{1}{5}$ de la distance qui sépare une frange bril-

lante d'une noire, ce qui correspond à environ $\frac{1}{35000}$ de millimètre, et, pour une variation de 100° dans la température, une longueur de 1 centimètre d'un cristal varie de $\frac{1}{1000}$ à $\frac{4}{100}$ de millimètres. Au moyen des nombres trouvés par M. Fizeau, on peut construire des surfaces de dilatation, et l'on constate que, dans les cristaux doués d'un axe de principale symétrie ou de trois axes de symétrie binaire, les lignes principales de dilatation coïncident avec les axes de symétrie cristallographique, comme celles de conductibilité, d'élasticité optique, etc.; que, dans les cristaux mono ou tricliniques, les lignes principales de dilatation sont très voisines des axes d'élasticité optique, tandis que, comme on le verra plus loin, les axes ou lignes principales de conductibilité thermique sont en coïncidence avec celles d'élasticité sonore, etc., généralement et en particulier dans le gypse et le feldspath, remarquablement éloignées de celles de dilatation.

L'étude des dilatations thermiques est fort importante au point de vue de la cristallographie physique; elle intéresse aussi le géologue qui veut se rendre compte des pressions que les cristaux peuvent exercer les uns sur les autres dans les roches dont la température a pu varier quelquefois dans des limites fort étendues; mais elle ne peut guère trouver d'application à des déterminations pratiques.

CHAPITRE XV

CONDUCTIBILITÉ DES CRISTAUX PAR LA CHALEUR

§ 1. — PROCÉDÉS DE DÉTERMINATION.

L'étude de la propagation de la chaleur dans les matières cristallisées et les roches donne souvent des renseignements précieux sur leur structure.

La première idée de ce genre de recherches est due à Senarmont. Il appliquait la méthode d'Ingenhouz; il recouvrait de cire des plaques taillées suivant certaines directions dans les substances qu'il étudiait; il perçait les plaques d'un trou au travers duquel il faisait passer une tige d'argent ou de cuivre qu'il recourbait sous la plaque. Celle-ci était posée sur une table horizontale, et la tige la traversait normalement, la partie engagée dans la plaque étant, par conséquent, verticale, et la partie recourbée horizontale. Senarmont chauffait au moyen d'une lampe à esprit de vin l'extrémité libre de la partie horizontale de la tige métallique; la graisse fondait autour du trou à des distances variables, propres à la conductibilité spéciale des différentes directions. C'est une méthode heureuse, analogue aux méthodes optiques, en ce sens qu'elle permet d'embrasser à la fois toutes les directions d'une surface.

Car la matière grasse fondue sur les plaques y dessine, après son refroidissement, des bourrelets qui ont en général la forme d'ellipses qu'on peut appeler *isothermes*, puisque tous leurs points sont à la même température. Au moyen de trois sections bien choisies, on peut construire pour chaque corps la *surface isotherme* formée par l'ensemble des points auxquels parvient une même élévation de température dans toutes les directions où se propage la chaleur autour d'un point de ce corps pris pour centre d'échauffement.

Le calcul et l'expérience montrent que cette surface est en général un *ellipsoïde*. Les trois axes de la surface, lignes de conductibilité principale, sont parallèles aux trois axes de symétrie communs à toutes les propriétés physiques dans les cristaux du système orthorhombique. Dans les cristaux des systèmes quadratique et hexagonal, l'ellipsoïde est de révolution, et son axe de rotation est parallèle à celui de principale symétrie, axe optique unique de ces cristaux. Dans les cristaux cubiques, la surface isotherme est une sphère. Dans les cristaux à base oblique sur les pans, ceux du système monoclinique ou unioblique, un des axes de ellipsoïde est parallèle à l'axe de symétrie binaire, diagonale

horizontale de la base, qui a seul une position constante dans le cristal; les deux autres axes sont perpendiculaires au premier et rectangulaires entre eux; ils sont dans le plan de symétrie; mais ils n'ont aucune relation déterminable à l'avance avec les axes d'élasticité optique ou lignes d'extinction des vibrations de la lumière polarisée situées dans ce plan. Dans les cristaux du système bioblique ou dissymétrique, les axes de l'ellipsoïde isotherme sont encore rectangulaires entre eux, mais aucun d'eux n'offre en général de relation avec les lignes principales optiques. L'allongement ou la dépression de l'ellipsoïde isotherme dans les cristaux à un axe optique n'a pas non plus de relation connue avec le signe optique du cristal.

C'est aux théories mathématiques de Duhamel et de Lamé, aux études expérimentales de Senarmont, que sont dus ces résultats. M. Stokes et M. Boussinescq ont démontré que, dans le cas où le cristal présente des directions à extrémités opposées dissymétriques, l'ellipsoïde dont les rayons vecteurs mesurent les conductibilités propres à leur direction diffère de l'ellipsoïde principal qu'on observe sur les sections minces; mais les différences entre les deux surfaces sont très petites par rapport aux grandeurs mesurées; aussi n'a-t-on pas encore pu les constater.

Les sections de ces surfaces par des plans quelconques sont des ellipses. Soit x et x' les longueurs des axes d'une de ces courbes, K et K' les coefficients de *conductibilité intérieure*, parallèlement à ces axes, le coefficient de conductibilité intérieure d'une substance étant la quantité de chaleur qui, dans l'unité de temps, traverserait l'unité de surface d'une section de largeur indéfinie, en supposant que l'épaisseur de cette section soit égale à l'unité, et que ses faces soient maintenues à des températures différentes de 1°. On a entre les quantités ainsi définies la relation $\frac{x^2}{x'^2}=\frac{K}{K'}$.

Si la méthode de Senarmont lui a permis de vérifier expérimentalement les résultats de l'analyse mathématique, elle s'applique à un trop petit nombre de matières pour être d'un usage

courant. Elle exige le forage des plaques, qui est dangereux et difficile; de plus, le cathétomètre est un instrument qu'on ne possède pas toujours et qui ne peut pas faire connaître la situation des axes sur la plaque. C'est pourquoi on a évité le forage des plaques en les chauffant à la surface, au moyen d'une petite sphère ou d'un petit cône de platine échauffés eux-mêmes par un courant électrique (1).

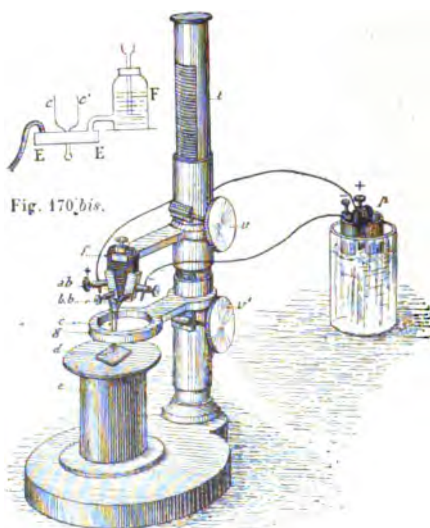


Fig. 170.

Appareil de chauffage (fig. 170). — Le courant est fourni par deux ou trois accumulateurs d'un modèle moyen réglé par un rhéostat qui peut faire varier l'intensité depuis 1 à 15 ampères. On peut, au lieu de platine, employer avantageusement du platine iridié qui donne un appareil plus rigide, et, pour éviter le rayonnement de la partie la plus élevée du cône, on entoure celle-ci d'un étui de barbotine portée ensuite à la température des fours à porcelaine. Dans les expériences courantes, qui n'ont pas besoin d'une grande précision, l'on se contente du petit appareil de platine sans rhéostat, ni pièces accessoires, en ayant soin de ne pas dépasser la température du rouge sombre.

La figure 170 montre le courant qui arrive à gauche de la pile ou des accumulateurs dans une languette métallique *ab* qui est

(1) V. Jannettaz, *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXIX, p. 5. *Mémoire sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés.*

accolée à une plaque d'ébonite *f* et à laquelle est reliée une borne *bb* où l'on attache l'appareil de chauffage *c*. Celui-ci est descendu au contact de la plaque étudiée au moyen d'un manchon mobile le long d'une crémaillère entaillée dans la colonne fixe *t*. Une vis *v'* permet d'amener vers l'extrémité inférieure de l'appareil du chauffage une sorte d'écran d'eau *i*. La figure 170 *bis* montre l'appa-

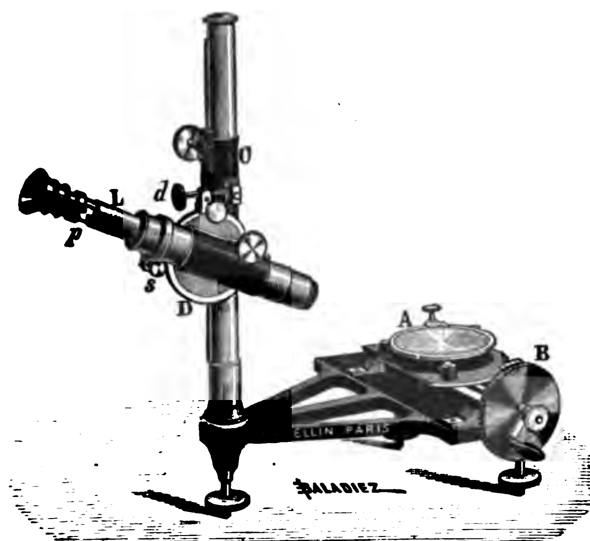


Fig. 171.

reil de chauffage *cc'* entouré d'une boîte métallique annulaire EE où l'eau descend d'un vase de Mariotte F et s'écoule par un tube de caoutchouc dans la région E de gauche. *e* (fig. 170 *bis*) est le support sur lequel on pose la plaque soumise à l'observation.

Ellipsomètre. — Cet instrument a pour but de permettre de déterminer facilement et avec toute la rigueur voulue les dimensions des diamètres de la courbe isotherme et d'indiquer, en outre, lui-même, par une méthode indépendante des mesures, la position des axes de l'ellipse.

L'ellipsomètre se compose (fig. 171) d'une lunette L mobile autour d'un axe horizontal. Cette lunette est munie : 1° d'un prisme biréfringent dont la section principale est située dans le plan vertical qui passe par l'axe de la lunette ; 2° d'un réticule composé de deux fils rectangulaires dont l'un est dans le plan de la section principale et dont l'autre est horizontal.

Un cercle divisé A sert à supporter la courbe à examiner ; ce cercle peut tourner autour d'un axe vertical ; il est porté par un chariot mobile sur une vis micrométrique dont les mouvements sont mesurés au moyen d'un cercle divisé B muni d'un vernier et qui permet d'atteindre le millième de millimètre.

La courbe à étudier étant posée sur le cercle A, quand on la regarde à travers la lunette, on en voit, grâce à la biréfringence du spath, deux images ; le prisme étant à dédoublement variable, il est facile d'amener les images à se couper (fig. 172), parce que, suivant son inclinaison sur l'axe de la lunette, il donne deux images plus ou moins écartées l'une de l'autre.

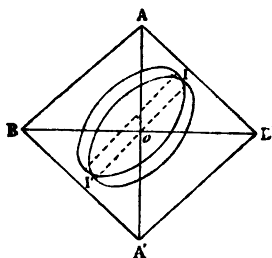


Fig. 172.

Un des fils du réticule est horizontal et parallèle à la direction de la vis micrométrique.

Si l'on fait tourner le cercle divisé A et la plaque qu'il supporte dans son plan horizontal, les deux images que donne le prisme de la courbe qu'on observe sur la plaque tournent aussi, et il arrive un moment où la droite d'intersection II' devient parallèle au fil horizontal du réticule, et où, par suite, l'un des axes de la courbe est également parallèle à cette direction (fig. 173), qui est celle de la vis micrométrique ; de sorte que, en déplaçant la courbe, au

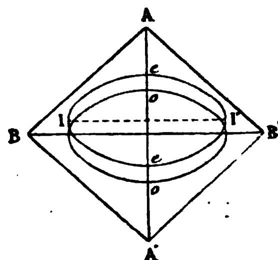


Fig. 173.

moyen de la manivelle qui agit sur le cercle B et la vis, parallèlement à cette direction, il suffit de mesurer le déplacement nécessaire pour que le fil vertical du réticule soit successivement dans les plans verticaux tangents aux deux images pour avoir la longueur de l'axe de l'ellipse (le grand sur la figure); en tournant de 90°, on mesure de même le petit axe.

On est certain que la droite II' est exactement parallèle au fil horizontal du réticule, car on peut amener ces deux lignes en coïncidence. Ce résultat s'obtient en faisant tourner la lunette autour de son axe horizontal par un mouvement lent de rotation que commande la vis *d*. Il y a un autre mouvement de rotation, rapide celui-là, et pouvant être produit à la main, qui sert à mettre la lunette dans la position où la courbe examinée est vue avec la plus grande netteté; il est, en effet, difficile d'apercevoir les courbes en les regardant normalement, tandis qu'on discerne très bien leurs contours en se plaçant sous une incidence oblique.

Pour redonner la même intensité aux deux images que leur polarisation dans des plans rectangulaires rend inégalement éclairantes, lorsqu'on les regarde sous ces incidences obliques, on place en avant de l'objectif une lame de verre sur laquelle est collée une lame de gypse, parallèle au plan de symétrie, qu'on oriente de façon à ce qu'un de ses axes d'élasticité soit à 45° de la section primitive du prisme biréfringent.

On n'a plus qu'à faire tourner le cercle divisé B et à mesurer au moyen du vernier qui lui est annexé le déplacement nécessaire pour que le fil non horizontal du réticule soit successivement dans les plans tangents aux deux images pour avoir la longueur d'un axe de l'ellipse (le grand sur la figure 173). Après avoir tourné de 90° le cercle divisé A, on mesure l'autre axe.

Les axes ainsi déterminés et mesurés, il faut encore fixer leur position sur la plaque, c'est-à-dire connaître l'angle qu'ils font avec des lignes remarquables de la plaque prises comme points de repère (le plus souvent des arêtes). Il suffit d'amener devant le fil horizontal du réticule successivement l'axe de la courbe et la ligne

de repère et de mesurer l'angle dont il a fallu faire tourner le cercle divisé A, et, de la sorte, on n'a pas besoin de centrer la plaque.

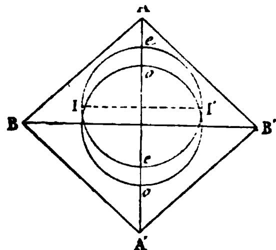


Fig. 174.

Si la courbe, au lieu d'être elliptique, est circulaire, la direction de la ligne d'intersection II' demeure toujours la même (fig. 174). C'est là ce qui permet de reconnaître l'ellipticité, même dans le cas où elle est très faible. Car, aussitôt que la courbe cesse d'être un cercle, la ligne d'intersection montre, pendant la rotation du cercle divisé A, un point au-dessus et l'autre au-dessous du fil horizontal du réticule.

§ 2. — DE LA PROPAGATION DE LA CHALEUR DANS LES CORPS CRISTALLISÉS.

Les appareils précédents ont permis d'étendre beaucoup les observations relatives à cette propriété physique.

Il n'y avait pas à reprendre les résultats fondamentaux obtenus expérimentalement par Senarmont, puis par vom Lang et vérifiés analytiquement par Duhamel et Lamé, c'est-à-dire l'observation d'une harmonie constante entre les axes des ellipsoïdes thermiques et les axes de symétrie cristalline.

Mais, il restait à multiplier les observations et à déterminer les ellipsoïdes isothermes propres aux différentes espèces minérales et aux roches. J'ai entrepris de nombreuses recherches sur ce sujet; de leur ensemble se dégage une loi ayant des relations très importantes avec la cohésion. Bravais avait distingué, dans les cristaux, la cohésion normale qui retient côte à côte deux plans réticulaires limitrophes et la cohésion tangentielle qui retient l'un auprès de l'autre les nœuds d'un même plan réticulaire. On peut aussi considérer dans un plan réticulaire des cohésions normales retenant côte à côte deux rangées de molécules parallèles immédiatement voisines, et des

cohésions tangentielles retenant l'une derrière l'autre deux molécules d'une même rangée. Bravais admettait que la cohésion tangentielle varie d'une direction à l'autre; j'ai démontré expérimentalement cette variation en produisant dans le gypse ce qu'on peut appeler l'*ellipse de décollement.* Or les axes de cette ellipse coïncident comme grandeur et comme orientation avec ceux de l'ellipse isotherme.

§ 3. — ORIENTATION DE L'ELLIPSE ISOTHERME PAR RAPPORT AUX PLANS DE CLIVAGE.

Les clivages dépendant de la cohésion, la conductibilité thermique doit se trouver en relation avec les clivages. Senarmont avait bien remarqué que dans deux ou trois substances il y avait parallélisme du grand axe des courbes isothermes et du plan de clivage le plus facile; mais il n'avait opéré que sur un petit nombre d'espèces minérales, parmi lesquelles se trouvaient justement celles très peu nombreuses où ce parallélisme n'a pas lieu. C'est pourquoi il regardait cette coïncidence comme *fortuite.* L'observation de la superposition des anneaux colorés produits par décollements et des courbes isothermes, a fait apparaître une loi jusqu'alors inaperçue : *Un clivage plus facile entraîne une plus facile propagation de la chaleur parallèlement à son plan.*

Dans les substances qui ne possèdent qu'un seul clivage, il suffit de tracer une ellipse isotherme dans un plan perpendiculaire au clivage : on constate que son petit axe est normal au plan de clivage.

Mais la question est un peu plus complexe dans le cas des cristaux qui possèdent plusieurs clivages : il faut tenir compte de l'action résultante de ceux-ci. Si un cristal de l'un des systèmes quadratiques ou hexagonaux se clive uniquement suivant sa base, la résultante des clivages est incontestablement basique; lorsqu'on n'observe, au contraire, que des clivages parallèles à l'axe, la résultante des clivages est *axiale.* Mais il arrive souvent qu'une

substance quadratique présente des clivages octaédriques, ou qu'une substance des systèmes hexagonaux se clive suivant les faces d'un dihexaèdre ou d'un rhomboèdre; il suffit alors de comparer entre eux les angles que les faces de ces pyramides font avec la base du prisme et ceux qu'elles font avec l'axe normal à cette base; si l'angle avec l'axe est supérieur à 45°, l'ensemble des clivages est équivalent à un *clivage basique*; si cet angle est inférieur à 45°, la résultante des clivages équivaut à un *clivage axial.*

La ligne de conductibilité maxima est parallèle à la résultante des clivages.

Les lois énoncées plus haut ont été vérifiées d'une manière très nette dans plus de cent espèces cristallisées; dans la tourmaline, le béryl et la dioptase, d'une manière douteuse; enfin deux exceptions ont été présentées par le calcaire et les feldspaths.

Comme l'a démontré Fizeau, le calcaire et les feldspaths se contractent sous l'action de la chaleur au lieu de se dilater dans certaines directions; ce sont précisément les directions qui font exception à la règle des conductibilités.

De plus, on n'a pas tenu compte jusqu'ici de la diathermanéité, qui est, il est vrai, bien faible dans les cristaux, mais peut cependant, dans certains d'entre eux, modifier légèrement la température transmise d'un molécule aux voisines par contact immédiat, bien que les mesures de conductibilité n'aient été jusqu'ici effectuées qu'à de basses températures.

§ 4. — RELATIONS ENTRE LA PROPAGATION DE LA CHALEUR, LA COHÉSION, LA DENSITÉ LINÉAIRE ET L'ÉLASTICITÉ.

Relation avec la cohésion et la densité linéaire. — Bravais a posé comme une hypothèse dont il s'est attaché à faire voir la vraisemblance dans ses *Études cristallographiques*, et que personne n'a contestée, que « la cohésion tangentielle à un plan est d'autant plus grande que le réseau du plan est plus dense, et

que la cohésion normale est d'autant plus faible que l'écartement des deux plans limitrophes est plus considérable »; ce dernier cas est celui des plans de clivage.

Cette hypothèse permet de transformer l'énoncé relatif au parallélisme des plans de clivage et de ceux de plus facile propagation de la chaleur de la manière suivante : *Les plans de plus grande conductibilité thermique sont ceux de plus grande densité réticulaire.*

Dans les cristaux où il y a des plans de clivage multiples, on peut composer ces derniers pour obtenir leur résultante, et, employant le terme de densité linéaire défini plus haut, on est amené à penser que *la direction résultante de plus grande conductibilité thermique est celle de plus grande densité linéaire, c'est-à-dire du plus petit paramètre cristallographique.*

Relation avec l'élasticité. — On a vu que l'ellipse de décollement coïncide avec l'ellipse thermique. Ce décollement des lamelles de gypse est un phénomène de flexion; à un même effort exercé en un point et produisant une même flèche, correspondent des rayons vecteurs inégaux; les axes de cette ellipse semblent donc être ceux de la section parallèle faite dans l'ellipsoïde d'élasticité, dans ce cas particulier de flexion.

Il était intéressant de voir jusqu'à quel point les axes de conductibilité thermique correspondent à ceux d'élasticité.

L'étude de l'élasticité dans les cristaux anisotropes est des plus difficiles et des plus délicates.

Élasticité sonore. — Savart a le premier abordé cette étude au moyen des lignes nodales dessinées par de la poudre légère sur des disques de différentes directions ébranlés au moyen d'un archet.

Sur un disque circulaire de faible épaisseur, dont les faces étaient parallèles à un plan de symétrie et qu'il taillait dans la matière soumise à l'observation, il obtenait, soit des hyperboles, soit des lignes diamétrales rectangulaires, suivant le point du contour qu'il ébranlait en fixant le centre du disque; il obtenait des ellipses ou

des courbes du quatrième degré, toujours fermées, lorsque, fixant des points particuliers de la circonférence du disque, il en ébranlait le centre.

Lorsqu'on fait l'expérience sur un disque contenant dans son plan les axes de plus grande et de plus petite élasticité, tel qu'un disque de bois à faces parallèles aux fibres, un disque de cuivre strié, un disque de quartz à faces parallèles à l'axe de principale symétrie, et que, fixant le centre du disque, on ébranle, au moyen d'un archet, deux extrémités AA' situées sur une droite perpendiculaire, soit aux fibres du bois, soit aux stries du disque de cuivre, soit à l'axe du quartz, on obtient, comme lignes nodales dessinées par de la poudre qu'on projette sur le disque, deux branches d'hyperboles, dont l'axe réel est parallèle à la ligne ébranlée AA' et dont l'axe imaginaire BB' est parallèle à la ligne de plus grande élasticité (fig. 175). Si l'on fait la même expérience sur les mêmes disques en ébranlant deux extrémités d'un diamètre situé à 45° de la direction précédente, on obtient deux lignes rectangulaires xx' et yy' parallèles à la ligne de plus petite et à la ligne de plus grande élasticité.

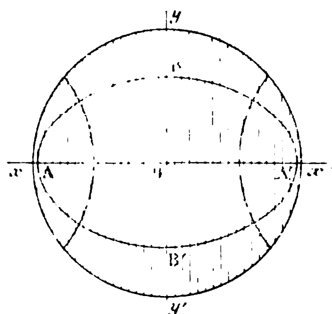


Fig. 175.

Enfin, si, fixant les deux extrémités A, A' de la ligne de plus petite élasticité, on ébranle le disque par le centre, on voit la ligne nodale prendre la forme d'une courbe fermée, elliptique ou voisine d'une ellipse, *dont le petit axe BB' est parallèle à la direction de plus grande élasticité.*

J'ai répété ces expériences; j'ai toujours vérifié les résultats de Savart dans les cristaux où la base est parallèle à la section droite des parallélipipèdes que nous prenons, en France, comme formes primitives. Les hyperboles indiquent bien, par leur axe imaginaire, les ellipses, par leur petit axe, la direction de plus

grande résistance à la flexion ou de plus grande élasticité sonore.

En outre, j'ai constaté un autre caractère propre aux axes d'élasticité ; c'est que, si, *après avoir fixé le disque par deux points extrêmes situés sur l'axe de plus grande élasticité, on le fixe par deux points situés sur la direction perpendiculaire, le son s'élève.* Ce fait résulte d'un très grand nombre d'observations où, au fur et à mesure que je produisais les sons, ils étaient notés par MM. Burckardt et Marqua, constructeurs de pianos.

Cette étude a été poursuivie d'une manière complète dans le gypse.

Angström avait déjà constaté que, en ébranlant le contour d'un disque circulaire de gypse taillé parallèlement au clivage facile, la ligne nodale est une courbe du quatrième degré dont la forme est très voisine de celle d'une ellipse ; son petit axe, qui est, comme il a été dit plus haut, celui de plus grande élasticité, est à 53° 40' du clivage fibreux et à environ 130° du clivage vitreux. Cette direction n'est éloignée du grand axe de conductibilité thermique que d'environ 4°. Angström avait d'ailleurs entrevu ce rapprochement des deux sortes d'axes. On pouvait penser que cette faible divergence devait tenir à l'influence de la forme des disques. Il est, en effet, évident que, dans un cristal à axes inégaux, l'inégalité des axes exclut la forme circulaire du contour. En découpant dans des lames de gypse parallèles au plan de symétrie des plaques de forme elliptique ; en faisant varier les rapports des axes de ces ellipses, on voit que les courbes nodales deviennent plus régulières et que les hyperboles se réduisent à deux droites parallèles aux axes de l'ellipse isotherme, lorsque le rapport du grand axe au petit axe de la plaque est égal à 1,45, qui est le carré de 1,247, nombre qui est le rapport des axes de l'ellipse isotherme.

Élasticité de flexion. — Une autre méthode expérimentale permettant d'étudier l'élasticité dans le gypse est celle de la flexion.

On a encastré par un bout des lames rectangulaires, longues de 3 à 4 centimètres, larges d'environ 1 centimètre, épaisses de $0^{mm},5$, dé-

coupées dans des feuillets de gypse de Montmartre, parallèles au clivage facile. A leur extrémité libre était suspendu un petit panier très léger destiné à contenir des poids, qui variaient de 5 à 25 grammes; au delà de cette charge, la limite d'élasticité était dépassée; jusque-là, la flèche était sensiblement proportionnelle à la charge. En donnant aux grandes longueurs des lames deux directions différentes, celle du plus grand et celle du plus petit axe des conductibilités thermiques, dont le rapport est 1,247, on a trouvé pour rapport des coefficients d'élasticité 1,939, le plus grand coefficient se rapportant au grand axe thermique dans le cas d'un même effort correspondant à une même flèche. On peut remarquer que 1,939 es le cube de 1,247. Cela voudrait donc dire que les coefficients d'élasticité seraient proportionnels aux cubes des axes des courbes isothermes, comme ils le sont d'ailleurs aux cubes des longueurs des lames infléchies.

M. Coromilas a repris plus tard cette recherche par un procédé analogue, qu'il a cherché à rendre plus précis. Il a calculé la direction du maximum d'élasticité sur le plan de symétrie du gypse; il lui trouve la même position qu'Angström, c'est-à-dire à 3° ou 4° de celui des ellipses isothermes; nous sommes donc à très peu près d'accord sur ce point; où M. Coromilas et moi différons davantage, c'est sur le rapport des coefficients d'élasticité, que M. Coromilas trouve égal à 2,88 dans le gypse d'Aschersleben, tandis que je ne suis arrivé qu'à 1,939, pour le gypse de Montmartre.

Quoi qu'il en soit du rapport de leurs longueurs, on peut dire que, dans le gypse, les axes d'élasticité coïncident à très peu près, comme directions, avec ceux de l'ellipse isotherme et de l'ellipse de décollement.

Conclusions. — Des expériences et des observations qui viennent d'être résumées se déduisent d'elles-mêmes deux sortes de conclusions, les unes expérimentales, les autres théoriques.

I. *Conclusions expérimentales.* — 1° Les instruments décrits. au chapitre XV de ce livre donnent au caractère de la conduc-

tibilité thermique des applications aussi faciles, aussi exactes et aussi générales que celles fournies par les axes d'élasticité optique et les lignes d'extinction déterminés à l'aide des microscopes polarisants.

2° Les expériences démontrent cette loi que, *dans les cristaux et dans les corps à structure pseudo-cristalline, tels que les roches schisteuses, la direction de plus grande conductibilité thermique est celle de plus grande cohésion, de plus grande élasticité sonore, de plus grande résistance à la flexion.*

Cette loi est suivie par les matières cristallisées, à très peu d'exceptions près. Elle ne rencontre, à ma connaissance, aucune exception dans les roches à structure schisteuse (voy. *Structure schisteuse*).

II. *Conclusions théoriques.* — Les conclusions théoriques s'appuient sur cette hypothèse que, dans les corps dont la structure n'est pas isotrope, mais reste homogène, tels que les cristaux et les roches à structure schisteuse, les variations de cohésion suivent le même sens que celles des densités linéaires ou, encore, sont inverses des variations des intervalles moléculaires.

Elles permettent d'énoncer la loi précédente sous une autre forme : *Dans les corps à structure homogène, la direction de plus grande conductibilité thermique est celle de plus grande densité linéaire ou du plus petit paramètre, lorsqu'il s'agit des cristaux.*

§ 5. — CONDUCTIBILITÉ MOYENNE DES ROCHES.

Plusieurs observateurs ont mesuré la conductibilité moyenne d'un certain nombre de roches, MM. Herschel et Lerebours, en Angleterre. M. Émile Less, en Allemagne, Stadler, en Suisse.

En appelant *conductibilité absolue* d'un corps la quantité de chaleur qui traverse un cylindre de ce corps, de 1 centimètre de longueur, et de 1 centimètre carré de section, ayant ses deux bases portées à des températures différentes de 1°, et en prenant pour unité de mesure la petite calorie, c'est-à-dire la quantité de

chaleur nécessaire pour s'élever de 1° la température de 1 gramme d'eau, M. Herschel a obtenu les nombres suivants :

Sel, 0,043 ; quartz, 0,0086 ; grès, 0,006 ; granite, 0,0033 ; serpentine, 0,0014 ; argile, 0,0025 ; calcaire, 0,0026 ; sable humide, 0,0009 ; ponce, 0,0006.

Péclet avait trouvé pour le plomb, 0,0038 ; pierre à bâtir, 0,00577 ; sable quartzeux, 0,00075 ; craie en poudre desséchée, 0,0002 ; craie en poudre comprimée, 0,00029 ; sapin parallèle aux fibres, 0,00047 ; sapin perpendiculaire aux fibres, 0,0003.

La moyenne de ces nombres est 0,0058, sensiblement celle de la conductibilité de la croûte terrestre.

M. Émile Less, en prenant pour terme de comparaison le marbre des Pyrénées, dont il fait le pouvoir conducteur = 1000, obtient pour ce pouvoir les nombres suivants dans : marbre de Carrare, 769 ; granite de Saxe, 804 ; granite de Thuringerwald, 713 ; serpentine de Saxe, 676 ; schiste argileux de Schwarztahal, 469 ; argile commune, 275. M. Stadler, à Zurich (1889), a déterminé la conductibilité intérieure absolue de quelques roches ; il est arrivé à des nombres différents ; il est vrai que les granites et les marbres ne provenaient pas des mêmes localités ; dans l'ensemble, les roches cristallisées conduisent mieux la chaleur que les terreuses.

MM. Thoulet et Lagarde, à l'aide d'un procédé fondé sur le principe de l'équilibre variable de la température, ont obtenu 2,24 pour rapport de la conductibilité du fer à celle de l'anhydrite.

§ 6. — CHALEUR SPÉCIFIQUE DES ROCHES.

Regnault avait reconnu, en prenant pour unité la chaleur spécifique de l'eau, que 0,21631 est celle du marbre, 0,16689 celle de l'oligiste, 0,13029 celle de la pyrite. M. Thoulet a retrouvé des résultats à peu près identiques. M. Stadler, à Zurich, a publié aussi quelques-unes des chaleurs spécifiques des roches dont il a mesuré la conductibilité. Il a trouvé comme chaleurs spécifiques : dans un granite du Schwarzwald, 0,1949 (densité, 0,66) ; dans celui de

Baidno, 0,1941 (densité, 2,596); dans un basalte des bords du Rhin, 0,1988 (densité, 2,97); dans une serpentine, 0,2439 (densité, 2,68); dans un trachyte du Siebengebirge, 0,2089 (densité, 2,55).

D'après Barus, la chaleur spécifique des diabases se mesure par 0,29 à 0,304 calories entre 800° et 1100° et par 0,35 à 0,36 calories entre 1200° et 1400°, pour la même roche liquéfiée.

D'après le même observateur, la température de fusion du basalte est de 1260° environ, de 1400° pour les porphyrites, de 1500° pour les rhyolites. La chaleur latente de fusion des diabases à 1200° est de 24 calories.

Toutes ces propriétés thermiques des roches et de leurs éléments jouent certainement un rôle, non seulement dans les propriétés résultantes de l'écorce solide du globe, mais encore dans la plus ou moins grande facilité avec laquelle beaucoup de roches tendent à la désagrégation.

§ 7. — ÉLASTICITÉ DES ROCHES.

On sait que le *coefficient* ou *module d'élasticité*, qu'on représente par E, est l'inverse de l'allongement subi par un corps que l'on comprime ou que l'on étire. Les publications relatives à l'art du constructeur, et notamment les annales des ponts et chaussées contiennent de très importants travaux sur les propriétés mécaniques des matériaux de construction, exécutés sous la direction de Michelot, et, plus récemment, de MM. Durand-Claye et Debray. Nous en extrayons quelques résultats : en exprimant en millièmes de millimètres la contraction C d'un prisme de 1 mètre de longueur et de 1 centimètre carré de base, comprimé par une charge de 1 kilo, et en kilogrammes par centimètre carré la résistance R à l'écrasement, on a obtenu :

Pour le banc royal de Tercé, Vienne : $C = 5{,}285$; $E = 1{,}70 \times 10^9$; $R = 192^k$; — pour le liais de Tonnerre, Yonne : $C = 5{,}02$; $E = 2 \times 10^9$; $R = 259$; — pour le liais de Lignerolles, Côte-d'Or : $C = 2{,}04$; $E = 4{,}46 \times 10^9$; $R = 735$; — pour le grès

rouge de Mersviller, Meurthe-et-Moselle : C = 15,494 ; E = 0,53 $\times$ 10^9 ; R = 543. — pour le granite de Kersenton, Finistère : C = 1,63 ; E = 6,14 $\times$ 10^9 ; R = 135 ; — pour le marbre blanc ; C = 1,65 ; E = 6,06 ; R = 735k. — R atteint 1500 kilos dans certains granits, 1900 dans quelques basaltes.

Résistance à la traction. — Elle est mesurée par les efforts capables de produire la rupture : Basaltes 77 kilos par centimètre carré ; calcaire de Portland, 60 ; calcaire lithographique : 30.8 ; C. arénacé 22,9 ; C olithique 13,7.

Résistance à la flexion. — Elle se mesure par la valeur de la flèche que prend une barre prismatique de la matière encastrée à ses extrémités, infléchie en son milieu par un poids donné P. Soit E, le coefficient d'élasticité, P le poids fléchisseur, L la longueur, l la largeur, h l'épaisseur de la barre infléchie, f la flèche on a : $E = \frac{PL}{flh^3}$. On a obtenu E = 8,02 $\times$ 10^9 pour le marbre blanc ; E = 3,28 $\times$ 10^9 pour un liais. En mesurant la résistance à la rupture par la flexion de dalles de 1 mètre de long et de 8 à 50 millimètres d'épaisseur, on a obtenu : pour des ardoises taillées en long, 5.621.000k ; perpendiculairement à la schistosité : 2.733.000 pour le marbre 1.100 000. La résistance à l'écrasement est plus grande aussi pour les blocs placés sur champ que pour ceux placés sur lit. Dans une même roche, elle augmente avec la densité et avec la finesse du grain, en général.

CHAPITRE XVI

PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES ET ÉLECTRIQUES.

§ 1. — MAGNÉTISME.

On peut aussi utiliser, dans certains cas, l'action de quelques pierres sur l'aiguille aimantée.

Si on suspend, comme l'a fait Lebaillif, à un fil de cocon, sans torsion, une paille bien droite, et qu'on passe au travers de la paille, à une de ses extrémités, deux aiguilles à coudre ou deux fragments d'une aiguille à tricoter, après les avoir aimantées sur un aimant quelconque et en opposant leurs pôles, puis qu'on place à l'autre extrémité de l'aiguille un peu de cire molle, pour que la paille reste en équilibre, on peut ensuite, en approchant des aiguilles aimantées des grenats almandins, constater qu'ils exercent une action manifeste sur l'aiguille.

Hugard a observé que les angles des cubes d'un certain nombre de martites, de ces cristaux à forme de magnétite, mais à poussière rouge d'oligiste, attirent le pôle boréal d'une aiguille aimantée, tandis que les angles opposés repoussent le même pôle. Au moyen de boussoles très sensibles, on constate que le phénomène du magnétisme électropolaire n'est pas aussi limité qu'on le croyait primitivement. Les cristaux d'oligiste offrent ordinairement un pôle magnétique à l'extrémité d'une des stries dont sont marquées leurs bases, un pôle contraire à l'autre. La pyrite magnétique doit son nom au magnétisme polaire qu'on observe aux deux extrémités d'une même direction parallèle à l'un des côtés de la base hexagonale de ses cristaux.

La plupart des corps sont influencés par les aimants. Un grand nombre taillés en baguettes et rendus mobiles autour d'un axe

vertical (composés du fer, du nickel, etc.) se disposent parallèlement à la ligne des pôles d'un aimant rendu horizontale. Ce sont les corps *paramagnétiques*. D'autres, tels que le bismuth, placés dans les mêmes conditions, se disposent perpendiculairement à la ligne des pôles, on les nomme *diamagnétiques*. Les corps isotropes prennent des directións parallèles ou perpendiculaires, quelle que soit la direction dans laquelle on les a taillés. Il n'en est pas de même dans les cristaux des systèmes autres que le cubique. Un cristal hexagonal ou quadratiqne dirige parallèlement ou perpendiculairement à la ligne des pôles d'un aimant son axe de principale symétrie, lorsqu'on le taille en disque parallèle à cet axe, qu'on appelle ici *axe magnétique*. L'étude théorique de ces phénomènes a montré que dans tous les corps cristallisé, l'intensité magnétique est mesurée par les rayons vecteurs d'un ellipsoïde, dont les axes principaux sont parallèles aux axes de symétrie.

De ses observations Plucher a conclu que dans un grand nombre de cristaux, *la direction d'induction maxima est parallèle au clivage le plus facile*, lorsque ce clivage est unique ; c'est la même règle qu'on a retrouvée plus haut pour la propagation de la chaleur.

§ 2. — PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES PROPREMENT DITES.

Elles ont donné lieu à des recherches diverses.

Conductibilité superficielle. — Les recherches relatives à la conductibilité superficielle sont tout à fait analogues à celles exposées dans le précédent chapitre sur les propriétés de conductibilité thermique. Elles ont été commencées par de Senarmont (1) qui s'est proposé d'observer, sur différentes directions planes déterminées d'un cristal, les variations de la conductibilité superficielle comme il y avait observé celles de la conductibilité thermique, de façon à obtenir les lignes principales de conductibilité élec-

(1) De Senarmont, *Mémoire sur la conductibilité des corps cristallisés pour l'électricité de tension* (Comptes rendus de l'Académie des sciences, 17 décembre 1849).

trique, comme il avait obtenu celles de conductibilité thermique, comme on trouve au moyen des anneaux colorés les axes d'élasticité optique. Le procédé de de Senarmont n'était pas très facile à appliquer. Wiedemann (1), à la même époque, imaginait un procédé plus simple : il faisait arriver un flux d'électricité sur la surface étudiée par une pointe normale à ce plan. En saupoudrant la plaque d'une poudre légère et mauvaise conductrice, on voit celle-ci s'écarter de la pointe suivant une courbe elliptique qui peut être très régulière. La loi des conductibilités électriques est en accord avec la structure des minéraux.

M. Paul Jannettaz a repris ces expériences pour déterminer la position des lignes principales de conductibilité électrique sur les matières schisteuses et clivables. Il a vu que, sur une section normale à un plan de schistosité, le grand axe de l'ellipse est perpendiculaire aux plans de séparation (le grand axe est, par conséquent, parallèle au petit axe des conductibilités thermiques). Sur les plans de clivage principal des ardoises qui présentent un longrain, et nous avons vu précédemment que, sur presque toutes, l'ellipse isotherme en met un en évidence, M. Paul Jannettaz a constaté une ellipse de conductibilités électriques superficielles à grand axe perpendiculaire au longrain. S'il n'est pas aussi facile de mesurer les axes de ces ellipses d'équipotentiel électrique que ceux des ellipses isothermes, les courbes ont l'avantage d'être obtenues avec la plus grande facilité, puisqu'il suffit d'une petite machine électrique quelconque, d'une pointe et d'un peu de poudre lycopode.

Conductibilité proprement dite. — La conductibilité de l'électricité à travers la masse des matières minérales est très difficile à déterminer. Les difficultés proviennent de ce que les résultats sont influencés dans des proportions considérables par les impuretés ou l'humidité que peut renfermer la matière.

Néanmoins, on a pu faire quelques expériences sur des corps

(1) Wiedemann, *Mémoire sur les propriétés électriques des corps critallisés* (Société des Sciences physiques de Berlin, 2 février 1849).

bons conducteurs. Matteucci, sur le bismuth, et Bäckström, sur le fer oligiste, ont constaté que les conductibilités thermique et électrique varient dans le même sens. La conductibilité des corps mauvais conducteurs ou diélectriques a donné lieu à d'intéressants travaux de la part de M. Foussereau et de M. Jacques Curie. Ce dernier a attribué à des inclusions d'eau un rôle capital, et notamment pour le quartz, dont la conductibilité est 2500 fois plus grande suivant l'axe optique que dans les directions transversales.

Induction dans les diélectriques. — Pour les diélectriques, il est une propriété beaucoup mieux connue; c'est le pouvoir *inducteur spécifique*.

Des travaux nombreux ont été faits sur ce sujet, dans le but de vérifier si, comme l'exige la théorie de Maxwell, le pouvoir inducteur d'un corps est bien égal au carré de son indice de réfraction. Les pouvoirs inducteurs mesurés sur les minéraux sont en général trop forts. Il y a concordance très nette dans le soufre pur.

Phénomènes électriques dans les corps hémièdres. — Tous les corps conducteurs de l'électricité peuvent développer des courants électriques, quand ils sont en contact avec d'autres corps à une température différente. Il suffit, par exemple, pour obtenir un courant, de chauffer différemment les deux points d'attache des deux fils de cuivre d'une pile électrique et du fil d'un galvanomètre, pourvu qu'on rende les deux points d'attache hétérogènes. Cette propriété appartient aux métaux, et, à un haut degré, à un certain nombre de sulfures naturels ou artificiels.

Ce qui mérite d'être mentionné en minéralogie, c'est le fait remarquable présenté par la pyrite et la cobaltine, dans lesquelles on trouve deux variétés, l'une positive, l'autre négative, avec lesquelles il est possible de construire les éléments d'une pile thermoéle-ctrique. Marbach qui a fait cette observation pensait que les deux variétés correspondent aux deux décaèdres pentagonaux, qui donnent, en se combinant ensemble, un même cube pyramidé. M. Friedel a montré que sur un même cristal il y a des

plages de signes contraires et que l'explication reste à trouver (1).

Pyro-électricité ; piézo-électricité. — Lorsqu'on élève la température des cristaux de tourmaline, on voit que, pendant l'échauffement, leurs extrémités s'électrisent et que le cristal, tout le temps que sa température monte, se comporte comme une aiguille aimantée, agissant sur l'aiguille aimantée elle-même ou sur un second cristal qu'on échauffe en même temps que lui ; l'extrémité du cristal de tourmaline chargée des rhomboèdres ou des scalénoèdres les plus aigus se comporte comme un pôle négatif pendant l'échauffement ; l'autre, comme un pôle positif. Si on cesse de chauffer les tourmalines, leur température reste quelque temps stationnaire ; elles ne donnent plus signe d'électrisation ; mais bientôt elles se refroidissent, et, pendant l'écoulement de la chaleur déterminée par le refroidissement, leurs extrémités se comportent de nouveau comme celles d'une aiguille aimantée ; mais celle qui était positive pendant l'échauffement devient négative pendant le refroidissement, et inversement.

On appelle ce phénomène *pyro-électricité*. On l'observe, en général, aux extrémités dissymétriques des axes polaires, dans les cristaux à formes anti-hémiédriques (blende, cuivre gris), dans la calamine, etc. La loi du dégagement de l'électricité a été établie par Gaugain :

$$Q = KS\Delta t.$$

Q quantité d'électricité dégagée ; K un coefficient propre à la matière ; S section droite du prisme échauffé, Δt variation de la température.

MM. Jacques et Pierre Curie ont constaté que, si l'on comprime latéralement des cristaux de tourmaline, on produit le même effet qu'en laissant refroidir des cristaux à température supérieure à celle du milieu ambiant, et que, si, après les avoir comprimés, on les décomprime, on obtient un résultat analogue à celui de l'échauf-

(1) Ch. Friedel, *Cours de minéralogie* (Paris, G. Masson, éditeur, 1893), *Pyro-électricité*, p. 322.

fement. Q étant la quantité d'électricité dégagée, P le poids compresseur, S la surface de la face qui dégage l'électricité, S' celle de la face sur laquelle agit le poids P, K un coefficient variable avec les différentes espèces minérales et pour une même espèce avec la direction considérée, on a $Q = KS \frac{P}{S'}$.

MM. J. et P. Curie ont donné le nom de *piézoélectricité* à cet ensemble de phénomènes; qu'ils ont étudiés dans un grand nombre de cristaux hémièdres. Ces phénomènes sont réversibles: si, par exemple, on met une lame de quartz en relation avec une source d'électricité, ce quartz produit une compression sur des plaques métalliques entre lesquelles il est serré. C'est une vérification du principe de la conservation de l'énergie établi par M. Lippmann.

On peut donc avec un cristal constituer un appareil dégageant des quantité d'électricité déterminée. M. J. Curie a pu par ce moyen étudier la conductibilité et l'induction électriques, comme nous l'avons dit plus haut.

Nous avons signalé ces faits à cause de leur importance théorique, bien qu'ils ne puissent jouer qu'un faible rôle dans la détermination pratique des espèces minérales.

CHAPITRE XVII

DURETÉ

On a cherché à apprécier numériquement la dureté superficielle des cristaux. Les appareils employés sont appelés *scléromètres*; ils sont constitués essentiellement par une pointe chargée de poids; en déplaçant l'un par rapport à l'autre, la pointe et le minéral à étudier, on y trace une raie. Le poids nécessaire pour tracer

une raie ou les dimensions d'une raie produite par un poids déterminé donnent une évaluation numérique. Ce procédé convient pour étudier les variations de la dureté sur une même face cristalline, mais il est à peu près illusoire, lorsqu'on se propose de comparer les cristaux de différentes espèces ou même simplement les diverses faces d'un cristal.

Plusieurs appareils ont été imaginés dans ce but par Pfaff et Auerbach, en Allemagne, et, en France, par M. Paul Jannettaz. Ce dernier a réalisé un instrument qui détermine, non plus la résistance à la rayure, mais celle à l'usure, et qu'il a nommé *usomètre* (1).

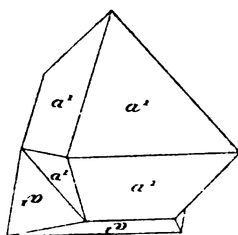
(1) V. Paul Jannettaz et Goldberg, *Détermination de la dureté des matières vitreuses et cristallisées au moyen de l'usomètre* (Association française pour l'avancement des sciences, 1895).

QUATRIÈME PARTIE

GROUPEMENTS. ANOMALIES OPTIQUES.

Nous avons rejeté l'étude des groupements des cristaux à la suite des propriétés physiques, parce que la connaissance de celles-ci est nécessaire à l'intelligence des groupements. Dans tout ce qui précède, on a considéré les cristaux comme des individus isolés; aussi a-t-on pu dire, en commençant l'exposé des formes cristallines, que les cristaux sont des polyèdres convexes. Mais très fréquemment les cristaux se groupent, quelquefois en grand nombre et de la manière la plus confuse; ces groupements irréguliers donnent lieu, dans ce cas, aux formes les plus variées, parfois bizarres (aragonite coralloïde, pyrites en sphères, en rognons, imitant des fruits, etc.). On ne pourrait décrire ces groupes qui font partie de ce qu'on appelait au moyen âge les « jeux de la nature ». Quelquefois les cristaux se groupent de façon à conserver leurs faces et leurs axes parallèles; beaucoup de gros cristaux peuvent être décomposés ainsi; les variétés cristallines fibreuses sont aussi souvent dans ce cas, quoique les fibres qui les composent ne soient pas toujours rigoureusement parallèles, ce qu'on peut y constater au moyen de leurs propriétés optiques. On réserve le nom de groupes réguliers à ceux de deux ou plusieurs cristaux unis par une face plane, tantôt par une des faces qu'ils présentent d'habitude, et tantôt par une de celles qu'ils pourraient offrir, et que le calcul permet de prévoir, sans qu'on l'ait observée.

Un exemple simple de groupement régulier se rencontre dans certains cristaux de rubis spinelle (fig. 176). Deux cristaux de cette substance de forme octaédrique se joignent par une de leurs faces au moment de leur formation ; ils sont l'un par rapport à l'autre dans la même position qu'un objet et son image vue dans un miroir. Les secondes faces du dièdre, dont les deux premières sont au contact, forment entre elles un angle rentrant.


Fig. 176.

Très fréquemment, pour rendre aux deux demi-cristaux groupés la forme d'un cristal simple, il suffit de tourner l'un des deux de 180° autour d'une perpendiculaire au plan de jonction. C'est pour cette raison que les cristaux groupés d'après cette loi sont appelés *hémitropes*.

En général, le degré de symétrie est plus élevé dans un groupe de cristaux que dans ses éléments.

Dans les carbonates anhydres cristallisés en prismes droits à base rhombe, dont l'angle est voisin de 120°, on voit souvent trois cristaux se grouper de manière à offrir extérieurement la forme d'un prisme hexagonal, et, comme l'a montré M. Des Cloizeaux par de nombreux exemples, il est à remarquer que, les trois angles *mpq*, *nmq* *cpq* (fig. 177), ne valant pas tout à fait 360° ensemble, il reste un vide comblé n'importe comment; l'ensemble forme un prisme hexagonal qui est régulier au point de vue géométrique, mais que ses propriétés optiques permettent de décomposer en ses éléments. Trois systèmes de stries qui se coupent sous des angles de 120° manifestent sur les bases des prismes le groupement de trois cristaux dans un assez grand nombre d'espèces du système orthorhombique (fig. 178). Quelquefois, au lieu de trois cristaux, on a des associations de

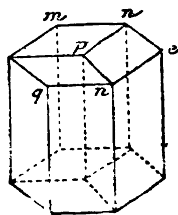


Fig. 177.

demi-cristaux ou de combinaisons de cristaux entiers ou incomplets.

Il y a, en résumé, des groupements de deux cristaux situés, l'un à droite, l'autre à gauche, d'un plan de jonction avec *hémitropie*, c'est-à-dire renversement d'un des individus par rapport à l'autre, ou, si on n'aime mieux, rotation de 180° d'un des individus autour de la normale au plan suivant lequel les deux sont accolés ; c'est le groupement *par hémitropie*; puis des groupements de plusieurs cristaux autour d'un axe commun, en *verticilles*, présentant une disposition analogue à celle des organes floraux. Nous aurons soin de signaler ces dispositions des cristaux à chacun des cristaux qui les présentent.

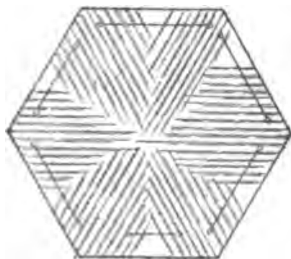


Fig. 178.

Enfin, on conçoit qu'il y ait des groupements d'un plus ou moins grand nombre de cristaux autour d'un centre. Ce serait souvent le cas des cristaux appelés mimétiques, c'est-dire de ceux qui, en dépit d'une forme extérieure d'une certaine symétrie géométrique, présentent des propriétés optiques correspondant à une symétrie inférieure.

§ 1. — CRISTAUX MIMÉTIQUES.

Anomalies optiques. — Un grand nombre de cristaux présentent des anomalies optiques. Ceux de senarmontite, de grenat, d'analcime, de boracite, etc., qui sont géométriquement cubiques, au lieu de rester inactifs en lumière polarisée, s'y comportent comme des cristaux ortho ou clinorhombiques. Ceux de béryl, de tourmaline, de dioptase, et tant d'autres, qui sont géométriquement hexagonaux, présentent bien la croix noire à deux branches rectangulaires traversant des anneaux irisés circulaires en lumière polarisée convergente; mais on observe, lorsqu'on

tourne la plaque sur elle-même, une croix disloquée, qui peut les faire rapporter optiquement aux systèmes à deux axes optiques. On appelle ces cristaux *mimétiques*. Ces anomalies ont été, dans plusieurs cas, observées, il y a longtemps, par Brewster. Biot a tenté d'expliquer celles de l'alun par une polarisation lamellaire. Mais, d'un autre côté, l'on sait qu'un groupe de cristaux offre en général un degré de symétrie supérieur à celui de ses éléments ; on a observé de tout temps que des cristaux du système orthorhombique et du monoclinique, dont les faces prismatiques les plus fréquemment réalisées et, par conséquent, prises pour pans *m* de la forme primitive, font entre elles un angle voisin de 120°, quelquefois même exactement de 120°, tendent à former les faces latérales g^1, qui produisent avec les faces *m* un prisme hexagonal, et en même temps à se grouper 3 par 3, 6 par 6, autour de l'axe de la zone *mm*, en sorte que l'ensemble a un faciès hexagonal ; dans certaines espèces, telles que les micas, chlorites, etc., l'angle des faces *mm* et, par suite, des faces mg^1 atteint exactement 120°. En s'appuyant sur ces faits, Mallard a conçu toute une théorie qui restitue aux systèmes de structure véritablement anisotrope les formes des substances optiquement uniaxes ou biaxes, en les regardant comme des groupes d'éléments orthorhombiques, mono ou même tricliniques, à angles tels que, groupés autour d'un sommet commun, ils produisent par leur ensemble une forme cubique. Ainsi disparaît le désaccord apparent entre les formes géométriques et les propriétés optiques. Cette explication heureuse est généralement admise.

Nous l'adoptons également pour la plupart des espèces minérales affectées d'anomalies optiques. C'est pourquoi nous emploierons, avec la plupart des cristallographes actuels, les expressions de pseudocubiques, pseudoquadratiques, pseudohexagonales, etc., pour représenter le faciès cubique, quadratique, hexagonal, de substances auxquelles leurs propriétés optiques forcent d'attribuer une structure de symétrie inférieure. A cette théorie plusieurs observateurs ont présenté des objections sérieuses et opposé des

explications différentes. MM. Klein, Bensaude, Klocke, R. Brauns attribuent, soit à des tensions intérieures, soit à des mélanges de substances isomorphes, à des influences étrangères à leurs véritables structure, les anomalies optiques présentées par des substances d'une symétrie géométrique plus élevée. Nous n'admettons nous-mêmes, nous devons le reconnaître, la théorie de Mallard que sous certaines réserves.

Nous croyons que, au moins dans certains cas, on pourrait tout aussi bien s'expliquer ces anomalies par les différentes actions qu'un même effort exerce sur les différentes directions dans un cristal qui, tout en appartenant géométriquement à un certain système, est affecté d'hémiédrie.

Nous avons fait voir que beaucoup de ces substances anormales sont hémièdres, blende, aluns, etc. Nous avons obtenu, en le faisant cristalliser dans un siphon d'eau de Seltz chargé à 10 atmosphères et soumis à une température de — 30° pendant l'hiver de 1879, un gros cristal d'alun de potasse bien pur, qui présente nettement les anomalies optiques connues, mais qui, sous une enveloppe parfaitement limpide, contient une masse nuageuse provenant assurément d'une formation troublée au commencement par la matière gazeuse dont était chargée la liqueur, et l'on conçoit qu'un effort exercé sur des couches parallèles aux faces d'un cube, affecté, comme ceux de l'alun, de l'hémiédrie à faces parallèles, a dérangé son réseau, qu'il n'exerce pas la même action à droite et à gauche d'une même arête *pp*, ou, ce qui revient au même, suivant deux de ces arêtes adjacentes appartenant à une même face, qui ne sont pas physiquement semblables, et que, par conséquent, ce réseau s'infléchisse de deux manières différentes sous l'influence de la tension perturbatrice suivant deux directions rectangulaires (1).

On peut rapprocher de cette expérience la curieuse observation de M. R. Brauns qui forme sur les faces d'un dodécaèdre rhomboïdal

(1) Voy. Jannettaz, *Bulletin de la Société de Chimie* (Paris, 1870, p. 3 : — *Bulletin de la Société française de Minéralogie*, t. II, p. 124. 191.

de blende bien limpides et bien pures, optiquement inactives, au moyen d'une pointe qu'il y appuie légèrement, des figures de pression à la manière de Reusch, et ce sont des secteurs inégaux, il est vrai, mais qui deviennent optiquement actifs, comme ceux d'alun dans lequel ils sont égaux à cause de la direction plus symétrique de l'effort. Nous ne pourrions, dans ce livre essentiellement pratique, entrer dans plus de détails sur les causes de ces phénomènes ; nous étions obligé, au contraire, d'appeler l'attention du lecteur sur le fait lui-même, et nous signalerons à chaque espèce minérale ses propriétés optiques telles qu'on les voit.

Il faut reconnaître que très fréquemment, dans les lames minces qui ont une très faible biréfringence, toutes ces apparences ne sont plus généralement visibles.

§ 2. — STRUCTURE CRISTALLINE AVEC ARRÊTS DE DÉVELOPPEMENT.

Nous croyons pouvoir définir par l'expression *arrêts de développement* les différents états où se trouvent, d'après les observations de Vogelsang, un certain nombre de matières minérales qui semblent n'être pas parvenues aux formes cristallines parfaites.

Microlithes. — Ce sont d'abord les *microlithes*, individus microscopiques, appartenant à différentes espèces minérales très répandues dans les roches, feldspaths, hornblende, augite, apatite, et cristallisées en prismes très petits, dont les sections vues au microscope ont la forme de rectangles longs, étroits, à extrémités tantôt arrondies, tantôt aiguës ou dentées, etc. Les microlithes sont translucides.

Leur forme souvent allongée s'explique par l'allongement ordinaire des cristaux des mêmes espèces qu'on observe dans les cristaux de même espèce à l'œil nu, quand ils ont de plus grandes dimensions; souvent les extrémités de ces formes sont un peu confuses. Il arrive que, si la section mince regardée au microscope n'est pas parallèle à leur allongement, les cristaux n'ont plus des

dimensions aussi différentes en longueur et en largeur; les paillettes de mica ont rarement ces formes allongées; ce n'en sont pas moins des microlithes, c'est-à-dire de très petits cristaux qu'on ne peut étudier qu'au microscope. On observe quelquefois que ces microlithes se groupent en étoiles à rayons rectilignes ou courbes, en cercles, en S, ou bien comme des nervures de feuilles pennées, et dont les formes capricieuses ne sont pas sans analogie avec les contours des êtres organisés.

Trichites. — Ici, les cristaux deviennent si minces qu'on n'en peut souvent plus étudier les propriétés optiques. Ils sont allongés, quelquefois semblables à des lignes brisées, souvent enroulés et ressemblant à des touffes de cheveux; c'est ce qui les fait appeler trichites.

Ces formes capillaires ne sont pas particulières aux minéraux considérés sous des dimensions microscopiques. L'argent, l'or natifs, la variété de cuivre oxydulé appelée *chalcotrichite*, certains silicates (la mésotype), en montrent d'assez analogues.

On observe dans certaines espèces minérales, dans le cuivre oxydulé, des cristaux à faces creuses que rappellent certaines formes des minéraux microscopiques, de la magnétite, par exemple, où l'on ne trouve plus qu'une sorte de squelette du cristal, composé de ses arêtes entre lesquelles il ne s'est rien déposé au moment de leur formation; on connaît également des dendrites, des groupements de très petits cristaux en feuilles de fougères, en arborisations présentées sur une grande échelle par un certain nombre de matières dans quelques roches examinées au microscope.

Les trichites se rencontrent particulièrement dans les régions vitreuses des roches acides, les microlithes dans la pâte des porphyres et des trachytes. Elles sont si minces qu'elles restent opaques aux plus forts grossissements, si ce n'est sur certaines parties de leur longueur ou dans quelques-unes de leurs ramifications où elles prennent un peu plus d'épaisseur et acquièrent une faible translucidité.

Cristallites. — A la suite de ces ébauches de cristaux se placent des formes que Vogelsang regarde comme la première étape des corps, lorsqu'ils prennent une forme solide, l'état permanent des matières dites *colloïdes*.

Si, dans du sulfure de carbone saturé de soufre, on verse une goutte de pétrole, on voit presque immédiatement se séparer du liquide des petits globules de soufre. Cette forme sphérique paraît due à des actions capillaires. Vogelsang regarde les globules comme les corpuscules élémentaires des cristaux et les nomme *globulites*. On peut presser, briser avec la pointe d'une aiguille fine ces corpuscules sur l'objectif du microscope; ils sont bien compactes; si le milieu où ils sont en suspension reste assez fluide, on les voit entraînés par des courants, former des tas irréguliers, que Vogelsang appelle *cumulites* ou des *rangées régulières* qu'il appelle *margarites* (rangées de perles), des petites masses allongées cylindriques ou coniques (*longulites*), telles sont les formes qui peuvent rester isolées ou se combiner ensemble, des petites masses solides monoréfringentes auxquelles Vogelsang donne le nom général de *cristallites*. Lorsque les cristallites rencontrent un corpuscule homogène cristallisé, ils se juxtaposent à lui en revêtant leur forme cristalline commune. O. Lehmann a publié aussi des études intéressantes sur les cristallisations anomales; mais ces observations trouvent peu d'applications dans la détermination des roches.

Des productions analogues se retrouvent dans les roches porphyriques où la cristallisation est imparfaite. Les cristallites, qui se présentent très foncées ou opaques dans les roches pauvres en silice, deviennent de couleur claire et plus transparentes dans les roches moins basiques.

Souvent leurs traînées se disposent autour d'un centre et forment des *globosphérites* (opale des roches volcaniques). Lorsque, dans ces globules complexes, la densité varie du centre à la périphérie, le sphéroïde agit sur la lumière polarisée.

Polarisation d'agrégat. — Un agrégat de matière amorphe ou

colloïde ne peut montrer aucun phénomène particulier entre deux nicols croisés; il laisse persister l'obscurité; mais, si cette matière a été rendue biréfringente par une action extérieure, retrait produit par refroidissement, par dessication, elle exerce une action sur la lumière polarisée, et, si les directions principales d'élasticité optique des éléments du globule sont orientées irrégulièrement, les variations d'intensité lumineuse sont distribuées aussi pêle-mêle, et l'on a le phénomène appelé *polarisation d'agrégat*, qui est souvent utile en ce qu'il permet de distinguer les contours des éléments qui se confondent les uns avec les autres, lorsqu'ils ont le même éclairement.

Sphérolithes. — Dans les agrégats globulaires, les éléments sont souvent arrangés, soit suivant les rayons du sphéroïde, soit sur les différentes couches concentriques qu'on peut regarder comme constituant ce globule. Souvent les deux modes sont réunis.

Souvent aussi, dans le cas où les éléments ou les individus constituants du sphéroïde sont cristallisés, ils sont tous parallèles entre eux et à un plus gros cristal antérieur qui les a dirigés pendant leur formation.

On doit à MM. Émile Bertrand, Mallard, Michel-Lévy, Rosenbusch, des études nombreuses sur les phénomènes présentés par les associations d'individus généralement petits appelées *sphérolithes*.

1er *Cas.* — Les sphérolithes sont composés d'éléments amorphes colloïdes, qui n'ont été soumis à aucune action extérieure, qui n'ont subi aucune dessication, aucun retrait pendant leur refroidissement, aucune pression réciproque. Il n'y a pas de raison, dans ce cas, pour que la masse change rien à l'inactivité optique des éléments constituants. Ce cas est tout à fait exceptionnel.

2e *Cas.* — Les sphérolithes sont composés d'une masse colloïde agissant à la manière du verre comprimé. Pendant le retrait de la masse, il s'y produit un accroissement de densité de la circonférence au centre; le globule est donc formé de couches de densités régulièrement variables, et, par suite, entre les nicols croisés,

il se forme une croix noire dont les branches à contours indécis sont, par raison de symétrie, parallèles aux sections principales des nicols. Si on tourne un des nicols de 90° de manière à l'amener parallèle à l'autre, la croix noire est remplacée par une blanche, puisqu'il y a maximum d'éclairement. A 45°, on a une sorte de croix grise, comme si la croix tournait d'un angle égal à la moitié de celui dont tourne le nicol.

Si entre les nicols croisés on fait tourner la section mince, la croix noire conserve sa position et sa perfection jusqu'à son centre. Il est à remarquer que la périphérie des globules est cerclée de noir.

M. Michel Lévy a observé un bel exemple de ce cas dans un globule entièrement colloïde en serpentine extrait d'un porphyre noir du Morvan.

L'opale, la serpentine, la pinite présentent souvent cette apparence.

3e *Cas.* — Dans certains sphérolithes encore colloïdes dans leur ensemble, s'isolent des cristaux ébauchés, cristallites, à contours souvent insaisissables, et, si ces petits cristaux ont *un axe de symétrie se confondant avec un axe d'élasticité optique*, l'axe principal des petits cristaux est toujours entraîné radialement ou tangentiellement dans les zones successives de concrétions concentriques. On conçoit *à priori* et M. Michel Lévy a démontré que leur ensemble donne encore une croix noire à branches parallèles aux sections des nicols. Lorsque les sphérolithes sont très petits, la croix noire tend à disparaître et les globules semblent devenir des agrégats.

4e *Cas.* — Si les cristallites appartiennent à des systèmes obliques, en général la variation de l'orientation des axes d'élasticité dans les éléments de la section mince donne lieu à une polarisation d'agrégat.

(1) Michel Lévy, *Variolite de la Durance* (*Bulletin de la Société géologique de France*, 3e série, t. V, 1877, p. 258).

5e *Cas.* — Les sphérolithes sont formés d'éléments entièrement cristallins appartenant aux systèmes droits autres que le cubique, celui-ci étant inactif (quadratique, hexagonal, orthorhombique).

Le plus généralement les cristaux sont allongés suivant un de leurs axes d'élasticité optique et s'éteignent parallèlement à leur longueur. Si l'on observe au microscope en lumière parallèle une section mince quelconque du sphérolithe passant par son centre, on observe d'abord une croix noire dont les branches sont parallèles aux sections principales de l'analyseur et du polariseur, puisque devant ces sections se trouvent des fibres qui éteignent la lumière suivant leurs directions. Entre les branches de cette croix se trouvent quatre régions éclairées, ce qui doit être, puisque les fibres qui leur font vis-à-vis, étant obliques aux vibrations sorties du polariseur, les décomposent et dissipent l'obscurité qui s'y trouverait produite par les nicols sans leur interposition. L'on doit avoir évidemment le maximum d'éclairement à 45°, et, à droite et à gauche de ce maximum, une dégradation continue jusqu'à l'extinction totale. On peut, au moyen du mica quart-d'onde ou du quartz à teinte sensible, déterminer le signe de l'allongement. Si on tourne la section sur elle-même, rien ne change, puisqu'on amène successivement en face des sections principales des nicols des fibres qui éteignent parallèlement et normalement à leur longueur. Si les fibres sont tangentielles et non radiales, on conçoit *à priori* et le calcul démontre que le phénomène est toujours le même et consiste en une croix noire qui divise en quatre quadrants symétriques des anneaux colorés circulaires. On amène l'analyseur devant le polariseur ; au lieu d'une croix noire, on en a une blanche, et les colorations des anneaux sont complémentaires de celles qui se manifestent entre les nicols croisés.

Si la section mince ne passe pas exactement par le centre, les phénomènes perdent de leur symétrie.

6e *Cas.* — Les fibres appartiennent à des substances cristallisées dans les systèmes mono ou tricliniques. En général, on a des phénomènes analogues, si ce n'est que les branches de la croix, au

lieu de rester, l'une parallèle, l'autre normale aux fibres, se dirigent suivant les axes d'élasticité de ces fibres.

§ 3. — INCLUSIONS DES CRISTAUX.

Souvent on aperçoit à l'œil nu, dans les cristaux de quartz, de nombreuses inclusions de chlorite, de rutile, de tourmaline, d'amphibole, tantôt disposées sur des plans parallèles aux faces de la pyramide, ou même du prisme, et tantôt traversant les cristaux de part en part. Le feldspath est souvent, de son côté, criblé de cristaux de quartz, et même de mica. Des grenats, et ce sont ordinairement les mieux conformés, renferment, dans leur intérieur, des cristaux de calcaire à faces nettes.

Le quartz ne borne pas aux solides ses inclusions. Quelques variétés calcédonieuses sont quelquefois remplies d'eau. Certains cristaux, particulièrement du Saint-Gothard, laissent voir, sans loupe, dans leur intérieur, des cavités tantôt vides, au moins en apparence, et tantôt contenant une gouttelette liquide qu'on peut promener d'un bout à l'autre de la cavité, en les retournant convenablement. Au microscope, tout cela se répète en petit, mais dans un grand nombre d'espèces et dans des proportions considérables. Des cristaux d'une espèce minérale, le feldspath, le quartz, etc., renferment des individus beaucoup plus petits d'espèces qui n'ont rien de commun avec eux, par exemple des microlithes d'amphibole, de pyroxène, etc., ou des grains, des très petits cristaux de matières qui proviennent de leur décomposition, ou des matières vitreuses, tantôt restées amorphes, tantôt devenues cristallines par dévitrification.

Nous mentionnerons tous ces faits à chaque espèce de roche. Nous dirons ici quelques mots des inclusions liquides ou gazeuses. Elles ont été signalées d'abord par Brewster, et elles ont été plus tard, pour M. Sorby, l'occasion d'un grand nombre d'observations et d'expériences importantes. M. Sorby a observé que les cavités fourmillent dans certaines topazes, surtout dans les varié-

tés jaunes du Brésil, ainsi que dans l'émeraude; il a prouvé expérimentalement qu'une dissolution sursaturée ne dépose que peu ou point de matière solide dans des espaces capillaires.

Les cavités des cristaux ont quelquefois une forme géométrique ; c'est alors une de celles qui conviennent à la symétrie du cristal qui les présente; d'autres fois, elles sont rondes, ovales, irrégulières. Elles renferment ordinairement des gaz, de l'air, de l'azote, de l'acide carbonique, peut-être même de l'acide chlorhydrique. En lumière transmise, elles paraissent d'un noir foncé. Dans certaines, on remarque un noyau ordinairement liquide qui brille sur le fond noir ambiant et qu'on peut déplacer. Quelquefois on remarque dans ces cavités des mouvements spontanés, tumultueux de leurs inclusions, qui rappellent le mouvement brownien des végétaux.

Les liquides sont ordinairement de l'eau chargée de chlorure de sodium ou de potassium, des sulfates de potasse, de soude, de chaux, des acides libres, de l'acide carbonique liquide (dans le saphir).

M. Lacroix a publié récemment un travail d'ensemble sur les enclaves des roches.

CINQUIÈME PARTIE

CARACTÈRES CHIMIQUES

CHAPITRE PREMIER

ESSAIS CHIMIQUES

§ 1. — ESSAIS AU CHALUMEAU.

Toutes les roches sont évidemment des associations d'un nombre considérable de petites masses minérales, tantôt identiques entre elles et tantôt différentes les unes des autres. Dans le premier cas, la roche est *simple* ; dans le second, elle est composée. Les bancs de calcaire, les couches d'argile, de sable, qui constituent les formations dites *sédimentaires*, sont des roches simples ; les granites où l'on distingue à l'œil nu des éléments très dissemblables sont des roches composées. La première question, c'est évidemment de déterminer la nature des éléments constituants de la roche qu'on étudie ; et, à ce point de vue, le pétrographe se livre d'abord à une étude minéralogique.

Les minéraux sont eux-mêmes des groupes d'individus, et ceux-ci des combinaisons assujetties aux lois des proportions définies et d'arrangement régulier de leurs éléments chimiques.

Ce qui distingue une matière minérale d'une autre, c'est sa composition chimique, établie au double point de vue de la nature et

des quantités relatives des éléments chimiques, et aussi l'arrangement relatif que ces groupes primaires ont pris dans les molécules dont cette matière est composée.

On a donc à étudier la composition chimique et la structure des minéraux, surtout de ceux qui jouent un rôle d'une certaine importance dans la formation des roches. La composition chimique ne peut être connue que par des analyses et ne peut être enseignée d'une manière complète et sûre que par des traités spéciaux.

Bien que celui-ci ne puisse pas renfermer un traité d'analyse chimique, nous indiquerons cependant un certain nombre d'essais qui ne rentrent pas dans les méthodes générales d'analyse, que les chimistes n'ont par conséquent pas à exposer, mais qui rendent, au contraire, au pétrographe des services constants.

Puis nous présenterons un résumé rapide des formes cristallines principales, et enfin nous développerons avec une certaine ampleur l'étude des propriétés physiques et particulièrement des propriétés optiques, qui constituent aujourd'hui la méthode d'investigation la plus exacte pour la détermination des roches.

Essais chimiques. — Les essais les plus courants sont de deux sortes. Les uns appartiennent à ce qu'on appelle l'*analyse au chalumeau* et plus généralement *analyse pyrognostique* ; ils ont pour but de déterminer la manière dont une roche se comporte quand on l'expose à une température élevée, son degré de fusibilité, ses changements de couleur, etc. Les autres n'exigent que quelques acides ; ils permettent de voir si une roche y fait effervescence avec les acides faibles ou énergiques; si elle s'y dissout complètement ou seulement en partie, ou si elle y est insoluble.

Analyse au chalumeau. — Elle comprend un certain nombre de procédés rapides, dont les minéralogistes font constamment usage et dont l'instrument principal est le chalumeau.

Le chalumeau est particulièrement utile pour l'observation des caractères de fusibilité. Il permet, par exemple, sans autre essai, de distinguer des roches exclusivement siliceuses d'avec celles qui

contiennent du feldspath seul ou intimement mélangé avec du quartz. Si des caractères tirés de l'observation de la densité, de la couleur, de l'éclat, de la dureté, viennent se joindre à ceux que procure le chalumeau, on est ordinairement fixé déjà sur la nature de l'échantillon que l'on veut reconnaître ; on n'a plus du moins à hésiter qu'entre un petit nombre d'hypothèses, et les propriétés optiques font le reste en général. Dans des cas plus rares, on a recours à d'autres propriétés physiques; on termine par une analyse chimique qui complète la détermination d'une espèce minérale qu'on croit nouvelle ou dont l'étude approfondie offre un intérêt spécial.

Le chalumeau utilise la température développée par une flamme. Celle-ci peut être fournie par une lampe à huile, à gaz; mais on préfère, dans la pratique, celle d'une bougie ou même d'une simple chandelle.

On sait que dans une flamme on peut distinguer trois régions (fig. 179) : une intérieure *a* obscure, occupée par les gaz dilatés; une moyenne *b* éclairante, qui doit son pouvoir éclairant, en même temps qu'un rôle d'*agent réducteur*, à des particules solides qu'elle tient en suspension et qui proviennent des hydrogènes carbonés qui montent par capillarité dans la mèche; enfin, une région extérieure *c* peu éclairée, où la température est la plus élevée par suite de la combustion complète des matières grasses et où l'on introduit les matières qu'on veut exposer à l'*action oxydante* de l'air extérieur.

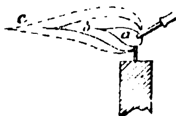


Fig. 179.

Le chalumeau est un tube recourbé en laiton ou en fer, dont une extrémité est terminée par une embouchure en os et dont l'autre a une forme conique et présente une ouverture très étroite. En général, il est plutôt composé de trois tubes, un terminé comme le précédent à son extrémité la plus large, par une embouchure en os, et présentant, à l'autre extrémité, une forme conique ; par cette extrémité, il pénètre dans un tube plus large et plus court, qui est un réservoir à air et qui porte un coude avec lequel se

raccorde par un de ses bouts un troisième tube plus étroit, conique, coiffé à l'autre bout, libre, d'un petit cône en platine.

On tient le chalumeau ferme d'une main; on en place l'embouchure entre ses lèvres; on y envoie de l'air en conservant pour les besoins de la respiration une partie de cet air qu'on aspire par le nez. On lance l'air sur la flamme qu'on recourbe, en l'inclinant un peu légèrement; il faut avoir le soin que la flamme soit bien comprise en entier dans le courant d'air et conserve bien sa longueur et sa forme immobiles.


Fig. 180.

La flamme ainsi recourbée garde ses trois régions distinctes (fig. 180) on y observe souvent une petite collerette bleue à la base.

Lorsqu'on veut opérer une réduction, on enfonce peu le cône du chalumeau; on obtient une flamme un peu longue, à partie éclairante un peu plus large. C'est à l'extrémité de cette région *b* et en dedans que l'action réductrice est la plus efficace. En dehors de la région éclairante, près de son extrémité, en *c*. se trouve la région oxydante la plus chaude. On raccourcit la flamme en enfonçant davantage le cône de platine, en le rapprochant de plus en plus de la mèche. Quand il est au-dessus de la mèche, la flamme est fine, courte et très chaude; c'est elle qui est la plus favorable à l'observation du degré de fusibilité des minéraux et surtout des colorations qu'elle peut en recevoir.

On commence par réduire la matière en petits fragments dans le mortier dit d'Abisch, qui consiste en un petit mortier d'acier, dont le pilon également en acier, s'emboîte dans un tube du même métal, celui-ci pouvant lui-même être introduit dans le mortier qui l'encastre. On frappe avec un marteau sur la tête du pilon. Si on craint qu'une matière trop dure n'arrache un peu de fer au mortier, on enlève celui-ci avec un barreau aimanté.

Pour obtenir une poussière plus fine, on se sert d'un mortier d'agate. Il faut choisir celui-ci du même rayon de courbure inté-

rieur que le rayon de courbure extérieur de son mortier, afin que la matière soit plus vite et mieux triturée.

On peut observer d'abord sur une roche son degré de fusibilité. On la casse en fragments ; parmi ceux-ci, on en choisit un qui offre une partie aiguë, ce que l'on constate en le regardant à la loupe ; on place le fragment entre les lames d'une pince dite *à bouts de platine* ; on le porte au feu oxydant ; on soutient le feu ; on regarde l'esquille à la loupe, et l'on voit si son extrémité est fondue ou non. Kobell a établi dans les espèces minérales 6 degrés de fusibilité.

1 stibine 2 mésotype	fusibles à la flamme d'une bougie.
3 almaudin 4 actinote	fusibles en éclats plus ou moins gros à la flamme du chalumeau.
5 orthose	difficilement fusible.
6 bronzite	très difficilement fusible.

On distingue aisément les corps très fusibles (1,2), facilement fusibles (3,4), difficilement fusibles (5), très difficilement fusibles (6).

On peut opérer autrement, réduire le corps en poudre fine, emprisonner cette poudre dans les tours d'un fil de plâtre enroulé à une de ses extrémités en spirale.

Souvent, en même temps que la fusibilité d'un corps, on observe au chalumeau quelques autres de ses propriétés. L'extrémité fondue, à tète ronde comme celle d'une épingle, porte le nom de *globule*. Ce globule peut être transparent comme du verre fondu ; on le dit *vitreux*. Il peut être plus ou moins opaque, comme un *émail*. Il peut être *incolore* ou *coloré*, lorsqu'il contient des métaux colorants qui sont en général très souvent le fer et quelquefois le manganèse, plus rarement d'autres métaux. Il peut, pendant sa fusion, laisser se dégager des vapeurs et principalement de la vapeur d'eau, en manifestant une certaine ébullition ; c'est ce qu'on observe dans les silicates hydratés qui ont reçu à cause de cela le nom de zéolithes ; il peut se gonfler, se déployer en éventail, prendre la forme d'un chou-fleur, quelquefois même

sans fondre réellement (*épidote*), se tordre sur lui-même (*vermiculite*).

Il peut dans certains cas, lorsqu'il est noir, brûler très difficilement, mais finir par disparaître, s'éteignant aussitôt qu'on le sort de la flamme (anthracite), ou rester embrasé quelque temps; lorsqu'il n'est plus chauffé (lignite), dégager des odeurs désagréables (bitumes), se décolorer sans changer de forme (roches bituminifères), de noir ou de brun devenir rouge (oxydule et hydrate de sesquioxyde de fer).

Il peut, s'il est cristallin, prendre l'aspect terreux (carbonate de chaux), décrépiter (carbonates rhombiques de chaux et de plomb). Lorsqu'on suppose que la substance renferme de l'antimoine ou d'autres corps qui attaquent le platine, on l'essaie sur le fil de platine ou sur le charbon.

Voici la série des essais qu'on peut tenter sur une matière et qui varient suivant l'opinion qu'en donnent son éclat métallique ou non, sa couleur et ses caractères extérieurs.

Charbon. — Pour les substances qu'on suppose métallifères, on prend d'habitude pour support un morceau de charbon. Le morceau ne doit présenter sur la tranche, ni à la surface de son écorce, une fois qu'il en a été dépouillé, aucune fente, aucune fissure. S'il y a une fente, il faut s'en tenir éloigné. On y pratique une cavité qui ne doit pas être trop étroite et qui doit surtout avoir un fond plat, plutôt que conique. On lance la flamme dans ce trou, de façon que celle-ci lèche bien la matière qu'on y a introduite.

Un grand nombre des combinaisons d'argent et la plupart de celles du plomb, du bismuth, l'oxyde d'étain natif, sont plus ou moins facilement réductibles. Les sulfures doivent être soumis quelques instants à la flamme oxydante, puis chauffés à la flamme réductrice. En même temps qu'on obtient le métal, on peut observer le dégagement d'odeur d'ail, d'arsenic, d'acide sulfureux, de sulfures. Les globules qu'on obtient sont d'un blanc d'argent (argent), d'un rouge de cuivre, on d'un blanc un peu moins vif (plomb), un peu jaunâtre (bismuth), d'un blanc vif qui se recouvre très vite à l'air

d'un enduit blanchâtre d'oxyde terreux (étain). Le plomb et le bismuth donnent lieu par leur volatilisation à des vapeurs qui se déposent sur les bords de la cavité à un enduit en forme d'auréole. Cette auréole est d'un jaune assez vif à chaud, orangé à froid, pour le plomb; elle est d'un jaune un peu foncé à chaud, plus clair à froid, pour le bismuth. On distingue facilement le plomb, qui est malléable et qui laisse une trace sur le papier, du bismuth qui est cassant, ce qu'on peut constater à l'aide d'un petit marteau sur un tas d'acier.

Certains corps donnent sur le charbon des auréoles sans globules. Les composés d'antimoine et beaucoup de ceux d'arsenic produisent des vapeurs épaisses, abondantes, qui retombent en poussière blanchâtre. On peut cependant obtenir un globule métallique très petit recouvert de petites aiguilles d'oxyde nacré. Le zinc est réduit sur le charbon, mais se volatilise immédiatement, et les vapeurs forment une auréole jaune à chaud, incolore à froid. Un des meilleurs caractères qui permettent de reconnaître le zinc dans ses combinaisons naturelles, c'est la coloration qu'on donne à l'auréole au moyen de l'azotate de cobalt. On verse sur cet enduit léger, quand on l'a obtenu, ou même, et peut-être plus avantageusement, avant de l'obtenir, à la place où on sait qu'il se produira, une ou deux gouttes d'azotate de cobalt, et on maintient en un point quelconque de cette région la flamme oxydante du chalumeau. On voit cette région se colorer d'une belle couleur verte très caractéristique.

L'or et le platine sur le charbon sont réductibles ; mais ces métaux se rencontrent généralement à l'état natif et sont immédiatement reconnus. On rencontre pourtant quelquefois des combinaisons de ces métaux; on peut en extraire facilement le métal au moyen du chalumeau, mais on les obtient, dans ce cas, en poudre fine qu'on ne peut rassembler en globule à cause de son infusibilité; l'or peut être reconnu par sa couleur et son inaltérabilité; le platine est également inaltérable, et on le reconnaît par son insolubilité dans les acides purs, puisqu'il ne se dissout que dans l'eau

régale. Au chalumeau, les minerais de fer, de manganèse et de cobalt, ne donnent directement que des oxydules attirables au barreau aimanté; mais si on mêle à leurs minerais du carbonate de soude, on peut les obtenir à l'état métallique. Il est vrai que ces métaux sont alors obtenus en poussière dispersée au milieu de la masse que le carbonate de soude a produit en agissant sur les matières combinées ou mélangées sous la forme de gangue à ces métaux. Voici la manière d'opérer : Après avoir essayé l'action du chalumeau sur la matière sans y rien ajouter, on la brise dans le mortier avec du carbonate de soude; après l'avoir chauffée pendant un certain temps, on retire de la cavité du charbon la masse sur laquelle on a opéré; on l'écrase dans le mortier d'agate avec le pilon; le métal, s'il y en a un, s'attache au mortier sous la pression du pilon; on fait couler un peu d'eau lentement dans le mortier en continuant à triturer le tout et en décantant après un certain temps l'eau et les parties légères qu'elle entraîne; on voit qu'il s'est déposé au fond du mortier une poudre peu brillante, attirable au barreau aimanté (fer, nickel et cobalt), ou bien l'on voit briller sur le fond un enduit d'éclat métallique.

La poudre, soluble dans les acides, donne des solutions colorées en jaune (fer), en vert (nickel). La poudre ou l'enduit sont solubles dans l'eau régale, et la solution additionnée d'une goutte de cyanure de mercure, puis d'ammoniaque, donne un précipité blanc; additionnée d'eau et évaporée, elle laisse déposer un précipité cristallin d'un orangé sale (palladium).

L'enduit attaqué par l'eau régale se dissout, et la solution additionnée d'une goutte de cyanure mercurique, puis d'ammoniaque, donne des cristaux d'un jaune vif (platine). Le palladium est attaquable par l'acide nitrique à chaud.

La poudre terne ne s'attaque pas par l'eau régale; on l'attaque difficilement par le bisulfate de potasse; la masse fondue se dissout dans l'eau et se colore en rose (rhodium).

La poudre cassante est insoluble dans l'eau régale, inattaquable par le bisulfate de potasse (iridium). Pour oxyder l'iridium, il

faut le fondre avec du nitre et de la potasse, la masse vert noirâtre donne à l'eau une couleur indigo, lorsque le métal est pur.

L'enduit est attaquable par l'eau régale et la solution, donne, avec le chlorure stanneux, un précipité brun, dit pourpre de Cassius (or). L'enduit est attaqué par l'acide nitrique :

1° Il donne avec l'acide chlorhydrique un précipité blanc, soluble dans l'ammoniaque (argent).

2° Il donne une liqueur verte que l'ammoniaque colore en bleu (cuivre). On distingue aisément le cuivre du nickel qui offre les mêmes réactions au moyen des perles (voir plus loin).

3° L'enduit attaqué par l'acide nitrique forme de l'acide stannique blanc pulvérulent ; il est difficilement soluble dans l'acide chlorhydrique, et la solution donne avec le chlorure d'or un précipité brun pourpre (étain).

Perles. — Réactifs : *borax* et *sel de phosphore.* Supports : *fil de platine,* — *coupelles Lebaillif.*

Un assez grand nombre de métaux colorent les silicates naturels, les phosphates et les borates artificiels incolores. Au chalumeau, on utilise la coloration que les borax et le sel de phosphore



$$Na^2O,2B^2O^3,10aq \quad \text{et} \quad Na^2O,2(AzH^4)O,H^2O,\ P^2O^5.8aq$$

peuvent acquérir, lorsqu'ils contiennent certains métaux, cuivre, nickel, cobalt, etc. Pour cela, on prend un fil de platine de 7 à 8 centimètres de longueur, assez épais pour rester rigide, assez fin pour se plier facilement, en général, de l'épaisseur d'une aiguille ordinaire; on en recourbe une extrémité en forme de boucle. Cette boucle ne doit pas dépasser la grosseur d'une tête d'épingle. On la chauffe au chalumeau et on la trempe chaude dans le réactif; on l'expose à l'action de la flamme oxydante de façon à fondre le sel, jusqu'à ce qu'on obtienne un verre transparent. S'il n'y a pas assez de réactif pour remplir la boucle, on recommence. Puis on fait adhérer à la boucle également chaude une très petite quantité de la matière qu'on essaie, et on la reporte dans la région oxydante de la flamme. On forme ainsi des borates et des phosphates

doubles de soude et des métaux que renferme la matière essayée. On a ce qu'on appelle des *perles colorées.*

On peut, au lieu de ces perles, opérer sur des petites coupelles faites de pâte de porcelaine. On chauffe la coupelle qu'on pose sur un charbon ; quand elle est chaude, on y fait tomber du borax ou du sel de phosphore ; après avoir fait perdre au borax toute son eau, ou au sel de phosphore son eau et son ammoniaque, on étale le réactif à la surface de la coupelle, de manière qu'il y forme une sorte de couverte ; puis on y place une très petite quantité de la matière essayée ; on soumet le tout à l'action de la flamme oxydante, puis à celle de la flamme réductrice.

Il faut s'habituer à n'agir que sur de minimes quantités de matière, sans quoi les colorations par transparence paraissent toutes noires ; nous indiquerons les cas où une plus grande quantité est nécessaire. En général, il en faut un peu plus pour colorer la couverte d'une coupelle que pour colorer une perle. Un assez grand nombre d'oxydes alcalins, alcalinoterreux et terreux, ne colorent pas les perles. Le quartz et les silicates peu colorés abandonnent un squelette de silice qui tournoie dans la perle en fusion, surtout dans celle du sel de phosphore.

Les colorations les plus caractéristiques et les plus pratiques sont les suivantes :

I. — *Perles obtenues avec le borax.*

COLORATIONS	AU FEU OXYDANT (FO)		AU FEU RÉDUCTEUR (FR)	
	A CHAUD	A FROID	A CHAUD	A FROID
Violette	Mn violet Ni violet rouge Di violet bleu —	Mn améthyste Ni rougeâtre Di violet rose —	Mn rosé — — —	Mn presque incolore Ni violet bleu Di rose violacé Ti violet bleu en grande quantité
Bleue	Co	Co Cu	Co —	Co —
Verte	Cu	— Cr (v. émeraude) — — —	— Cr (v. jaunâtre) Ur (v. sale) Va (v. sale) Fe (v. bouteille)	— Cr (v. émeraude) Va (v. émeraude)
Jaune	Fe jaune rouille Ti, N, Pb, Bi Mo en grande quantité U en petite quantité Co jaune clair	Fe jaune très clair Va, Ce — U jaune d'or —	— Ti en petite quantité W — Ni jaune gris	Mn en grande quantité W en grande quantité — — —
Rouge	Ni (r. acajou) Cr, U Ce Fe en grande quantité —	Ni brun chocolat — — — —	— — — — Mo brun clair	— — — — Mo brun foncé opaque

II. — *Perles obtenues avec le sel de phosphore.*

Les colorations obtenues diffèrent peu de celles que donne le borax.

Le cadmium produit une coloration jaune brun à chaud, jaune clair à froid, quand la perle est saturée;

L'urane, une coloration d'un vert sale à FO, à froid, une coloration verte à FR à chaud et à froid;

Le vanadium et le molybdène, une coloration verte à FR à froid;

Le tungstène, une coloration bleu clair à FR à froid;

Le titane pur, une coloration lilacée plus facile à obtenir à FR;

Le niobium, une perle d'un bleu brunâtre à FR:

Le titane, le tungstène, le niobium, l'antimoine même, unis au fer, une coloration d'un rouge sanguin à FR.

La perle violette de manganèse est d'un beau violet à FO et se décolore plus aisément à FR, quand il y a peu de métal.

Fer, nickel, cobalt. — On peut, au moyen d'une perle de borax, plus facilement au moyen d'une coupelle enduite de borax, séparer qualitativement ces trois métaux, lorsqu'ils sont combinés à l'arsenic. On chauffe d'abord l'arséniure ou le sulfoarséniure sur le charbon, au feu oxydant, de façon à les amener à l'état de sous-arséniure M^4As, qu'on fond sous forme de globule. On porte le globule sur la coupelle, et on voit celle ci se colorer en vert sale, tant qu'il reste du fer dans le petit globule. A la coloration verte en succède une bleue, tant qu'il y a du cobalt; enfin, apparaît la coloration brun chocolat du nickel. Pendant toute la durée de l'essai, on promène le globule sur les régions non encore colorées du borax en fusion.

Alumine et magnésie. — Un procédé facile permet de distinguer les matières qui ne contiennent que de la magnésie de celles qui ne contiennent que du fer. On place la matière en poudre ou même en masse sur du charbon, et l'on verse quelques gouttes d'azotate de cobalt très dilué; on chauffe au feu d'oxydation; les composés alumineux se colorent en bleu s'ils sont à peu près purs, en bleu verdâtre s'ils contiennent de petites quantités de fer; les

magnésiens se colorent en rose, couleur de chair, s'ils sont purs, en jaunâtre, en noir, s'ils contiennent trop de fer; souvent on a des argiles ou des silicates hydratés d'alumine, qu'on peut ainsi distinguer très vite des matières talqueuses. La glucine et l'yttria sont colorées en vert dans ces conditions, ainsi que l'oxyde de zinc; l'oxyde d'antimoine, en vert sale; l'acide titanique, en vert jaunâtre, mais, pour le problème ordinaire de la pétrographie qui est de savoir si une roche est magnésienne, comme les schistes talqueux, qui sont ordinairement une faible teneur en fer, ou si elle est riche en alumine, le caractère est assez facile à constater rapidement.

Colorations des flammes. — Le but de cet ouvrage n'est pas de tirer d'un seul procédé toutes les indications possibles, dont un grand nombre exigent souvent un long exercice et des instruments assez nombreux, mais de choisir parmi ces renseignements ceux qu'on peut obtenir aisément et sans trop d'études préalables. A ce point de vue, on ne doit pas dédaigner les services que peuvent rendre les colorations de la flamme.

En enfonçant le cône de platine du chalumeau assez avant dans la flamme, on obtient un dard aigu, presque incolore, très chaud. En plaçant la matière au bout d'un fil de platine qu'on pelotonne sur lui-même pour ne rien laisser échapper, puis en l'humectant avec un peu d'acide chlorhydrique et la portant dans la flamme vers sa pointe, on voit celle-ci se colorer au delà du dard et prendre des colorations qui varient avec la nature de la matière essayée.

Il est bon de s'habituer à distinguer, dans la flamme, trois régions : l'une tout à fait extérieure, qu'on peut appeler *bord extérieur de la flamme*, et située à 2 millimètres, 3 au plus de la partie éclairante; la seconde, qu'on peut appeler *manteau de la flamme*, située à 1 millimètre au plus de cette région éclairante elle-même, et que nous appellerons la flamme proprement dite ou simplement la *flamme*.

On ajoute souvent à la matière de l'acide chlorhydrique ou du chlorure d'argent.

Souvent, lorsque plusieurs corps associés ensemble colorent la

flamme chacun pour son compte, la coloration fournie par l'un d'entre eux couvre plus ou moins complètement les autres ; telle est en particulier l'action du sodium, dont la couleur jaune empêche de voir celles du potassium, du lithium, etc. On peut y remédier au moyen de verres colorés. On trouve dans le commerce des verres rouges (colorés ordinairement par de l'oxyde de cuivre) qui ne laissent guère passer que du rouge, des verres bleus qui doivent leur couleur au cobalt et qui laissent, il est vrai, passer un peu des différentes couleurs du spectre, mais qui laissent passer surtout les rayons bleus.

Flammes violettes. — Le potassium, le cæsium, le rubidium colorent la flamme en violet et le manteau de la flamme en bleu grisâtre; lorsque la potasse est accompagnée de soude dans une combinaison, il faut observer la coloration au travers d'un verre bleu qui absorbe la coloration de la soude et laisse voir la couleur violacée provenant des vapeurs de potassium.

Indigo. — La coloration indigo est produite par l'indium.

Bleu. — Le sélénium, l'arsenic, le plomb donnent à la flamme une coloration bleuâtre.

Le procédé suivant permet aussi d'obtenir une coloration bleue qui décèle les moindres traces de cuivre dans beaucoup de pyrites où il est intéressant de constater l'existence de ce métal. On mouille le minerai avec de l'acide chlorhydrique après l'avoir enroulé dans les spirales d'un fil de platine, et on le place au bord d'une flamme, tout simplement au bord de la partie inférieure de la flamme d'une lampe à alcool. Si la matière renferme du cuivre, on observe une belle coloration d'un bleu d'azur.

On reconnaît facilement aussi la présence du chlore, en saturant une perle de borax d'oxyde de cuivre, et en faisant adhérer à la perle une certaine quantité de la matière; lorsque celle-ci contient du chlore, elle colore également la flamme en un beau bleu pourpre ou bleu d'azur.

Flammes vertes. — Le thallium colore la flamme en vert d'herbe; le cuivre et ses combinaisons salines, sans chlore, en

vert; la baryte, en vert jaunâtre; l'antimoine, en vert bleuâtre; le tellure, le molybdène donnent aussi des colorations verdâtres.

Les phosphates humectés d'acide sulfurique colorent le bord de la flamme en vert jaunâtre, et les borates mouillés avec le même acide donnent au manteau de la flamme une coloration verte.

Les composés du fluor mêlés à du bisulfate de potasse et à du borax donnent à la pointe d'une flamme fine une coloration fugitive, mais d'un vert très intense et très caractéristique.

Jaune. — Le sodium colore la flamme en jaune.

Rouge. — Le lithium communique au bord de la flamme une coloration d'un rouge carmin très fugitive; les combinaisons du strontium humectées avec de l'acide chlorhydrique, une coloration d'un rouge écarlate, qui, au travers d'un verre bleu, reste rouge, violacée ou au moins rose; le calcium, une coloration d'un rouge un peu jaunâtre, qui devient d'un gris verdâtre au travers d'un verre bleu et d'un vert serin au travers d'un verre vert.

Emploi des tubes bouchés. — Ce sont des tubes de verre d'environ 3 millimètres de diamètre et de 7 à 8 centimètres de longueur, dont on renfle en boule la partie fermée. Pour s'en servir, on commence par en chasser l'humidité au-dessus d'une lampe à alcool; puis on y introduit la matière finement broyée dans un mortier d'agate, avec un bout de papier tortillé, de façon à ce que le verre ait un faciès bien net, et l'on chauffe sur une lampe à alcool. Si le corps est hydraté, il ne tarde pas à couvrir l'intérieur du tube d'une couche d'humidité. On peut ainsi distinguer les substances hydratées des anhydres. Souvent aussi on peut observer de cette manière des dégagements de vapeurs colorées ou odorantes, par exemple le dégagement des sulfures rouge orangé, d'arsenic ou d'antimoine dans les sulfoarséniures et les sulfoantimoniures, de soufre dans les pyrites, d'arsenic dans le mispickel, l'odeur des vapeurs rutilantes dans les azotates. On observe encore de cette façon que beaucoup de matières décrépitent, telles que l'aragonite, la galène; enfin qu'un certain nombre changent de

couleur, soit d'une manière temporaire, comme les oxydes de zinc et d'étain, qui sont blancs à froid et jaunes à une température élevée, ou d'une manière permanente, comme l'oxyde de fer hydraté, d'un jaune brun, qui devient à une haute température du sesquioxyde de fer anhydre et rouge.

En ajoutant à la matière essayée, avant de la broyer dans le mortier d'agate, différents réactifs, on obtient des caractères qui permettent de reconnaître un assez grand nombre de ses éléments.

Tube fermé et carbonate de soude. — Le carbonate de soude chauffé avec la substance en dégage l'ammoniaque dont les vapeurs odorantes et alcalines sont faciles à déterminer, l'arsenic qui forme sur les parois du tube un enduit brillant, le mercure qui se dépose sur ces parois en gouttelettes à éclat métallique ; on peut aussi, avant de chauffer le tube, y introduire un fil très fin de cuivre bien décapé ; on retire ce fil amalgamé, si la substance contient du mercure. Les tellurures forment avec le sodium du carbonate un tellurure de sodium qui colore en rouge l'eau purgée d'air.

Les sulfates et les sulfures chauffés, avec du carbonate de soude, se transforment en sulfure de sodium qu'on retire du tube et qu'on peut ensuite mêler à quelques gouttes d'eau dans le mortier d'agate. L'odeur de l'hydrogène sulfuré qui se dégage et l'action que le mélange exerce sur une pièce d'argent ou sur du papier à filtre imprégné de céruse font reconnaître facilement la présence du soufre dans la matière.

Tube fermé et bisulfate de potasse. — En chauffant une matière avec du bisulfate de potasse, on peut en obtenir des produits volatils et colorés, par exemple des vapeurs rutilantes s'il y a des azotates ; des vapeurs d'acide chlorhydrique, d'iode et d'acide iodhydrique ; d'acide fluorhydrique attaquant le verre, lorsqu'on a affaire à des chlorures, bromures, iodures ou fluorures, de l'hydrogène sulfuré, de l'hydrogène sélénié à odeur de raifort et accompagné d'un enduit rouge, quand la matière contient des sulfures ou des séléniures.

Tube fermé et chlorhydrate d'ammoniaque. — Le chlorhydrate d'ammoniaque permet de reconnaître facilement le sélénium qui colore en rouge l'excès de sel ammoniac.

Tube ouvert. — C'est un tube ouvert à ses deux extrémités dans lequel on introduit la matière à essayer, pour y observer l'action de l'air à une température élevée; on oxyde ainsi, par exemple, l'arsenic, l'antimoine, les sulfures, et on observe le dégagement de vapeurs piquantes (sulfures) à odeur d'ail (arsenic).

Bisulfate de potasse seul. — Le bisulfate de potasse cristallisé peut être employé seul pour distinguer certains monosulfures. Quand on broie dans un mortier du bisulfate de potasse cristallisé avec de la galène (PbS), de la blende (ZnS), de l'alabandine (MnS), du protosulfure de fer, on obtient un dégagement très abondant d'hydrogène sulfuré; et, d'ailleurs, ces différents monosulfures se distinguent extérieurement les uns des autres.

Autre méthode d'observation de la coloration des flammes appliquée surtout à l'observation des feldspaths.

On peut à une bougie dont on active la flamme au moyen du chalumeau substituer un bec, dit de Bunsen, alimenté par du gaz d'éclairage, en le coiffant d'une cheminée, comme dans l'analyse spectrale. On place une esquille de la matière qu'on essaie dans une boucle qu'on forme au bout d'un fil de platine. On porte cette boucle d'abord à la base de la flamme dans son enveloppe extérieure, oxydante, à environ 5 millimètres du bec nu; puis, coiffant le bec de sa cheminée, on porte de nouveau la matière à environ 1 centimètre au-dessus de cette cheminée, à peu près à l'extrémité de la pointe bleue de la flamme, dans sa partie chaude. Souvent aussi, pour ce second essai, on broie la matière avec du sulfate de chaux ou du chlorure de calcium. On regarde la flamme au travers d'un ou deux verres légèrement colorés en bleu, qui éteignent la coloration de la soude et permettent d'apercevoir une coloration rose, lorsque la matière contient de la potasse.

En suivant cette marche, qui est une application particulière

d'une méthode générale due à Bunsen, et qu'on appelle procédé Szabo, en l'honneur du savant qui l'a réglementée pour l'étude des feldspaths, on peut estimer approximativement les proportions de soude et de potasse contenues dans la matière, suivant que les colorations occupent le bord ou la moitié de la flamme, ou même l'envahissent tout entière.

De quelques essais par la voie humide.

Comme il a été dit au commencement de ce chapitre, il y a un certain nombre de petits essais par la voie humide qu'on exécute si souvent qu'il est utile de les signaler à ceux qui veulent déterminer les roches.

Les acides chlorhydrique et azotique sont les plus fréquemment employés. Ils servent à reconnaître les carbonates. Un carbonate quelconque traité par un acide perd son acide carbonique qui s'en dégage avec effervescence. En général, pour obtenir ce dégagement, on prend un acide dilué; le vinaigre suffit. Mais certains carbonates, celui de magnésie et ses combinaisons avec celui de chaux (dolomie) ou de fer, et le carbonate de fer cristallisé (sidérose) ne font effervescence qu'à chaud. Pour cette dernière observation, il faut chauffer très doucement le carbonate réfractaire, sans atteindre la température d'ébullition de l'acide qu'on pourrait confondre avec un dégagement d'acide carbonique.

Certains silicates sont insolubles dans les acides chlorhydrique, azotique, sulfurique, même concentrés et bouillants; quelques-uns y deviennent solubles après calcination; d'autres s'y dissolvent en faisant gelée, quelques-uns en y abandonnant de la silice pulvérulente.

On trouvera indiqués dans le cours de l'ouvrage, à chacune des matières qu'ils intéressent, tous ces petits essais, dont ne s'occupent généralement pas les traités d'analyse chimique.

Essais microchimiques.

Depuis un certain temps, s'est introduite une nouvelle méthode qui peut être utilisée avec fruit dans la détermination de certains

silicates alcalins et alcalinoterreux. Elle applique le microscope à l'observation des formes que prennent, en se solidifiant, divers composés obtenus par des réactifs convenables après une dissolution préalable dans les acides.

§ 2. — ESSAIS MICROCHIMIQUES.

Procédé Behrens. — Un demi-milligramme de la matière est attaqué dans un petit creuset de platine par de l'acide fluorhydrique, si c'est un silicate, auquel on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique. On évapore à siccité en évitant cependant de décomposer les sulfates; on s'arrête au moment où se dégagent des fumées abondantes. Les bases de la matière minérale se trouvent donc à l'état de sulfates; on les dissout en y ajoutant quelques gouttes d'eau portées à une température un peu élevée; on n'a plus qu'à appliquer les procédés ordinaires de la chimie qualitative pour arriver à la détermination des éléments; parmi les réactions, l'on choisit celles qui donnent des cristaux bien nets.

Potassium. — Pour le mettre en évidence, on ajoute à une goutte du liquide obtenu plus haut une goutte de chlorure de platine. Il se forme au bout de peu de temps, et d'abord à la périphérie de la goutte, des cristaux octaédriques de chlorure double de platine et de potassium (fig. 181).

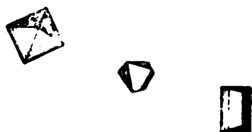


Fig. 181.

Sodium. — Pour le reconnaître, on emploie une solution d'acétate d'uranyle dans l'acide acétique. Il se forme sur les bords de la goutte des cristaux tétraédriques jaunes très caractéristiques (fig. 182).

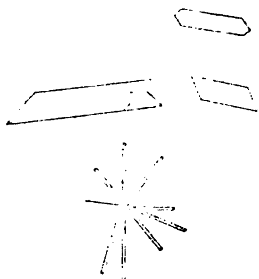


Fig. 182.

Les acides forts, un excès de sels d'ammonium et l'acide chloroplatinique gênent la réaction. En présence du magnésium, du fer, du cuivre, etc., il se forme en outre des acétates triples qui sont incolores et aussi cubiques.

16

Calcium. — Bien que le sulfate de chaux soit en grande partie insoluble dans l'eau, il est suffisamment soluble pour les essais suivants :


Fig. 183.

1° On dissout ; on évapore ; il se forme alors des aiguilles monocliniques de gypse souvent maclé (fig. 183).

2° Un granule de sel de seignette est ajouté à la goutte d'essai acidulée par l'acide acétique. Il se forme de gros cristaux rhombiques de tartrate de chaux ; mais la réaction est troublée par la présence dans la liqueur de la baryte, de l'acide borique, etc.

Magnésium. — On ajoute une goutte de sel de phosphore à la goutte d'essai contenant du chlorhydrate d'ammoniaque et un excès d'ammoniaque. Une élévation légère de la température favorise la formation des cristaux qui ont rarement des contours réguliers. Ils sont en forme d'X. A la fin de l'évaporation apparaissent les cristaux rhombiques hémimorphes (fig. 184).


Fig. 184.

Aluminium. — Un petit grain de chlorure de cæsium est mis au bord de la goutte qui doit contenir l'alumine à l'état de sulfate. Il se forme des cristaux octaédriques incolores d'alun de *cæsium* ; un petit excès d'acide favorise la réaction, un grand l'empêche (fig. 181).

Procédé Boricky. — On doit à Boricky quelques moyens ingénieux de constater facilement la présence simultanée de la potasse, de la soude et de la chaux, et d'en apprécier *de visu* l'abondance relative plus ou moins grande dans certains silicates, surtout dans les feldspaths qu'on a tant d'intérêt à distinguer les uns des autres. Sur une lame de verre on étend une couche de baume de Canada un peu épaisse qu'on chauffe doucement sur une plaque de fer chaude pour étaler le baume, en tâchant

qu'il s'y forme le moins de bulles possible. Le baume doit être suffisamment durci, pour qu'on puisse manier la préparation, sans le faire couler. Il ne doit pas l'être trop, parce qu'alors il deviendrait cassant, se fendillerait et laisserait passer entre ses fentes de l'acide fluorhydrique, qui attaquerait le verre et embrouillerait tout. On place sur le baume un très petit fragment du silicate à examiner, et on pose sur celui-ci une goutte d'acide hydrofluosilicique qui l'attaque. On laisse la préparation séjourner dans un dessicateur. Le lendemain, on la retire; l'évaporation de l'acide hydrofluosilicique doit être complète. On observe les petits cristaux qui se sont formés.

Les cristaux de fluosilicates de potasse sont cubiques et se montrent sous la forme de cubes et de cubo-octaèdres.

Ceux de soude sont hexagonaux (fig. 185).

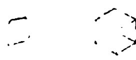




Fig. 185.

Ceux de chaux sont rhomboédriques; mais, souvent, ils se présentent en fuseaux étroits et allongés.

Nous ne pourrions nous étendre avec fruit sur ces procédés sans entrer dans des développements que comportent seuls les traités d'analyse chimique (1).

(1) Voyez Pisani, *Analyse chimique.*
Ditte, *Cours d'analyse.*
Silva et Engel, *Analyse chimique.*
Rammelsberg, *Leitfaden für die quantitative chemische Analyse besonders der Mineralien und Hüttenprodukte.* Berlin, 1874.
Wöhler, *Traité pratique d'analyse chimique*, édition française publiée par L. Grandeau et L. Troost, 1865.

CHAPITRE II

COMPOSITION CHIMIQUE ET FORMES

§ 1. — ISOMORPHISME.

On appelle *isomorphes* les corps qui peuvent se substituer l'un à l'autre dans une combinaison, sans que celle-ci en paraisse sérieusement altérée dans sa forme cristalline ou dans les proportions des éléments qui la constituent.

Une des séries les plus nettes de combinaisons isomorphes est fournie par les carbonates rhomboédriques $CO^3M(CO^2,MO)$.

Noms des espèces		*Angles des faces du rhomboèdre*
Calcaire ou calcite	CO^3Ca	105°5'
Giobertite	CO^3Mg	107°30'
Sidérose	CO^3Fe	107°
Smithsonite	CO^3Zn	107°40'
Diallogite	CO^3Mn	107°1'
Dolomie	$CO^3Ca + CO^3Mg$	106°15'
Ankérite	$CO^3Ca + CO^3Fe$	106°12'
Pistomésite	$CO^3Mg + CO^3Fe$	107°18'

Ces carbonates peuvent cristalliser ensemble, et, dans la nature, on rencontre des combinaisons simples de ces carbonates.

On en a trouvé de plus compliquées :

Noms des espèces		*Angles des faces du rhomboèdre*
Mésitine	$2CO^3Mg + CO^3Fe$	107°14'
Oligonspath	$3CO^3Fe + 2CO^3Mn$	107°3'

Mais, dans beaucoup de dolomies, l'analyse montre 3 de Ca contre 2 de Mg ou 2 de Ca pour 1 de Mg ; dans les variétés appelées *breunérites*, on trouve souvent à la fois Ca, Mg, Fe, Mn ; au premier abord, il ne paraît pas possible de ramener la composition du carbonate au même type que celle des carbonates précédents, bien

que les angles des faces soient très voisins de ceux des tableaux précédents; mais, en remarquant que la composition d'une molécule double de dolomie peut s'écrire $C^2O^6(Ca,Mg)$, tout aussi bien que $CO^3Ca + CO^3Mg$, on peut regarder cette molécule comme une molécule double de calcaire où un atome de Mg remplace un atome de Ca.

Réduite à sa plus simple expression, la formule précédente peut s'écrire :

$$CO^3\left(\frac{1}{2}Ca + \frac{1}{2}Mg\right).$$

La composition de la pistomésite sera représentée de même par

$$CO^3\left(\frac{1}{2}Mg + \frac{1}{2}Fe\right).$$

On comprend alors facilement les combinaisons suivantes, où les proportions des différentes bases sont encore assez simples :

Mésitine $2\,CO^3Mg + CO^3Fe = CO^3\left(\frac{2}{3}Mg + \frac{2}{3}Fe\right).$

Oligonspath $3\,CO^3Fe + 2\,CO^3Mn = CO^3\left(\frac{3}{5}Fe + \frac{2}{5}Mn\right).$

On peut, par suite, représenter d'une manière générale la composition de tous les carbonates rhomboédriques naturels où les proportions de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, peuvent varier de toutes les manières possibles dans les variétés appelées *breunérites*, *spaths perlés*, *spaths brunissants*, par la forme suivante :

$$CO^3(mCa,\ nMg,\ pFe,\ qMn,\ rZn).$$

Souvent on écrit simplement : $CO^3(Ca, Mg, Fe, Mn, Zn)$, en convenant de regarder Ca, Mg, Fe, Mn, Zn comme représentant des fractions d'atomes de ces corps, telles que la somme des nombres abstraits qui mesurent ces fractions soit égale à l'unité.

Il faut donc, pour établir la formule de ces corps, diviser les poids obtenus dans l'analyse pour chacun de leurs éléments simples par son poids atomique; la somme des quotients sera égale au

quotient de la quantité de carbone trouvée dans la même analyse par le poids atomique de ce dernier, ou au 1/3 du quotient obtenu en divisant la quantité d'oxygène par 16 (poids atomique de cet élément).

Cette méthode mène à la définition suivant de l'isomorphisme.

Des corps sont isomorphes lorsqu'ils ont le même type de composition chimique et des formes très voisines. Ils doivent pouvoir cristalliser ensemble; car les petites différences des angles qu'on observe dans les angles de leurs formes analogues n'empèchent pas les individus élémentaires d'entrer dans l'édifice d'un cristal comme des pierres d'assises qu'on pourrait y substituer les unes aux autres sans en troubler sensiblement l'équilibre.

Si le but de cet ouvrage nous permettait de plus amples développements sur ce sujet, nous aurions à faire remarquer que souvent un composé, qui n'est pas isomorphe d'un autre, épouse sa forme en se combinant à lui. Nous appellerions aussi l'attention sur le double rôle que l'eau joue dans les hydrates, qu'on arrive quelquefois à débrouiller en distinguant celle qui se dégage du corps à une température supérieure à 100° (eau de cristallisation), mais en somme peu élevée, de celle qui ne se dégage qu'à la température où le corps se décompose (eau de combinaison).

§ 2. — POLYMORPHISME.

Un grand nombre de corps présentent des formes et des propriétés différentes suivant les conditions où ils se sont constitués. Pour ne prendre que des exemples tirés des matières minérales, nous citerons le bisulfure de fer (FeS^2) qu'on rencontre sous les formes diverses du système cubique à hémiédrie parallèle (1/2 b^m etc., et sous des formes qu'on ne peut dériver que d'un prisme orthorhombique. Ici, on ne peut que conjecturer sur les circonstances où se sont produits les cristaux; mais on connaît les cristaux naturels d'oxydes de titane qui présentent trois formes différentes, qu'on ne peut faire dériver que de formes primitives incom-

patibles entre elles. Or, ces différentes variétés ont été reproduites par M. Hautefeuille.

M. Hautefeuille les a obtenues toutes les trois en faisant agir de la vapeur d'eau sur le fluorure de titane. Le rutile se constitue à la température du rouge; la brookite, à une température intermédiaire entre celle de la volatilisation du zinc et celle de la volatilisation du cadmium, et l'anatase, à une température voisine de la volatilisation du cadmium. Bien que toutes les variétés de forme du soufre n'aient pas été observées parmi celles du soufre naturel, on ne peut s'empêcher de citer le soufre comme une des substances les plus intéressantes parmi les polymorphiques. Le soufre obtenu par fusion cristallise en prismes clinorhombiques. Le soufre naturel ou celui qu'on obtient à froid par évaporation du sulfure de carbone où il a été préalablement dissous revêt des formes orthorhombiques. On doit à M. Engel la découverte d'une troisième forme de soufre. celle-ci rhomboédrique. Et de plus, outre la forme clinorhombique étudiée par Mitscherlich et appelée variété α, M. O. Lehmann, en 1877 et M. Gernez, en 1884, ont fait connaître une variété, dite β, à laquelle ses angles assignent des paramètres incompatibles avec ceux du soufre de Mitscherlich. Enfin, M. Muthmann a observé, en 1890, une troisième forme, dite variété γ, incompatible avec les deux précédentes. Le soufre orthorhombique a une densité de 2,05 à 2,07; le clinorhombique, une densité de 1,999 à 2,01; avec le temps, celui-ci prend la structure du soufre orthorhombique et sa densité, en dégageant une certaine quantité de chaleur.

On pourrait multiplier ces exemples. On ne peut omettre celui que donne le carbonate de chaux, tantôt rhomboédrique (*calcaire*), tantôt orthorhombique (*aragonite*). G. Rose a montré que l'aragonite ne se forme qu'entre 30° et 100°. On pourrait citer aussi le silicate d'alumine ($SiAl^2O^5$) qui forme le disthène bioblique, l'andalousite orthorhombique et un grand nombre d'autres composés qui seront décrits aux espèces minérales. Ces différentes formes d'un même corps correspondent à des différences de propriétés

souvent très grandes. Le diamant a une densité de 3,53 ; il cristallise dans le système cubique; il est par lui-même transparent, mauvais conducteur de l'électricité; c'est le plus dur de tous les corps connus. Le graphite, qui est aussi chimiquement du carbone pur, est un des corps les plus tendres, assez tendre pour laisser sa trace sur le papier; il cristallise dans le système hexagonal; il conduit bien l'électricité; il a pour densité 2,3 au maximum. Dans le rutile, le plus stable des oxydes de titane, la densité est de 4,18 à 4,25; elle n'est que 3,9 dans l'anatase. Les propriétés optiques et thermiques sont également contraires. La surface d'onde du rayon extraordinaire et l'ellipsoïde isotherme sont allongés suivant l'axe de principale symétrie dans le rutile et déprimés suivant la même direction dans l'anatase.

Au point de vue philosophique, on pourrait presque dire qu'on n'aurait pas plus de raison de confondre en une seule espèce le rutile et l'anatase, malgré l'identité de leur composition chimique comme qualité et comme proportions de leurs éléments, que les êtres animés d'espèces différentes.

Aussi regarde-t-on comme fournissant autant d'espèces minérales différentes les variétés d'un même corps polymorphe.

DEUXIÈME LIVRE

LES MINÉRAUX

AVIS

sur l'ordre suivi

dans l'exposé succinct des caractères distinctifs

des minéraux décrits dans ce livre.

Des considérations d'isomorphisme ont fait généralement choisir pour élément commun des groupes dans lesquels on réunit les minéraux le principe électronégatif; on divise ensuite ces groupes en sorte de familles, dont les membres, quelquefois assez nombreux, sont plus ou moins complètement isomorphes. Nous avons adopté cet ordre pour les pierres proprement dites, oxydes terreux, chlorures, silicates, carbonates, sulfates, phosphates, azotates, borates, etc. Mais, comme cet ouvrage a surtout un but pratique, nous avons pensé que le lecteur préférerait trouver réunis ensemble les minerais d'un même métal, qui le sont d'ailleurs souvent dans le chapeau du filon, sinon dans le filon tout entier d'où on les extrait. Comme il est néanmoins utile de connaître les groupes d'isomorphes reconnus parmi les minéraux, nous présentons la liste des principaux d'entre eux :

Arsenic, antimoine, bismuth, rhomboédriques;

Fer, cuivre, mercure, argent, or, platine, cubiques;

Skuttérudite $CoAs^3$, chloanthite $(NiCoFe)As^2$, ullmannite NiSbS, smaltine $(CoNiFe)As^2$, hauérite MnS^2, pyrite FeS^2, cobaltine CoSAs, gersdorffite (NiFe) (AsS), appartenant au système cubique à hémiédrie parallèle (du dodécaèdre pentagonal);

Marcassite FeS^2, löllingite $FeAs^2$, mispickel FeSAs, glaucodot (Fe,Co) (As^2S^2), orthorhombiques;

Galène PbS, altaïte PbTe, blende ZnS, alabandine MnS, argyrose Ag^2S, cubiques;

Wurtzite ZnS, greenockite CdS, troïlite FeS, nickéline NiAs, breithauptite NiSb, rhomboédriques;

Cuivres gris, cubiques;

Argyrythrose $3AgSSb^2S^3$, proustite $3AgSAs^2S^3$, rhomboédriques;

Périclase MgO + FeO, NiO, auquel on pourrait joindre MgO, FeO, BaO, SrO, CaO, non rencontrés dans la nature, tous octaédriques;

Brucite $MgOH^2O$, pyrochroïte $MnOH^2O$, rhomboédriques;

Rutile TiO^2, cassitérite SnO^2, quadratiques;

Corindon Al^2O^3, oligiste Fe^2O^3, auquel on pourrait joindre Cr^2O^3 qu'on ne connaît pas cristallisé dans la nature, tous les trois rhomboédriques;

Diaspore $Al^2O^3H^2O$, gœthite $Fe^2O^3H^2O$, manganite $Mn^2O^3H^2O$, orthorhombiques;

Spinelle $MgOAl^2O^3$, chlorospinelle et pléonaste (Mg, Fe) OAl^2O^3, picotite (Fe, Mg) $(Al^2Fe^2)O^3$, hercynite $FeOAl^2O^3$, gahnite $ZnOAl^2O^3$, magnésioferrite $MgOFe^2O^3$, jacobsite MnO $(Fe, Mn, Al)^2O^3$, franklinite $(Fe, Mn, Zn)OFe^2O^3$, dysluite $(Zn, Mn)O(Al, Fe)^2O^3$, chromite $(FeCr)O(CrFe)^2O^3$, magnétite $FeOFe^2O^3$, tous cubiques;

Sel gemme NaCl, sylvine KCl, salmiac AzH^4Cl.

Dans les silicates, on remarque le groupe ou famille des péridots $MOSiO^2$; celui de la willémite Zn^2SiO^4 et de la phénacite Gl^2SiO^4, rhomboédriques; celui des pyroxènes $MOSiO^2$, où la rhodonite n'est isomorphe des autres espèces du groupe que dans la zone ph^1; celui des bronzites ou pyroxènes droits; la famille des amphiboles. celle des grenats, celle des micas proprement dits, celle des micas durs ou clintonites, celle des tourmalines. Dans ces trois dernières familles, l'isomorphisme ne s'applique pas toujours à des espèces de composition chimique d'un type identique; mais on est obligé d'en réunir les espèces en un seul grand groupe à la façon de Werner à cause de l'analogie de leurs propriétés extérieures. La famille naturelle des feldspaths est également composée de silicates dont les caractères géométriques, optiques, thermiques, sont très voisins, mais dont les compositions chimiques ne rentrent pas sans artifice dans une même formule générale.

Parmi les carbonates, on peut citer comme isomorphes les rhom-

boédriques dont il a été question à l'isomorphisme, par exemple les orthorhombiques : aragonite $CaCO^3$, withérite $BaCO^3$, strontianite $SrCO^3$, céruse $PbCO^3$, alstonite $(BaOCaO)(CO^2)^2$.

Parmi les sulfates, on a, comme isomorphes, barytine $BaSO^4$, célestine $SrSO^4$, anglésite $PbCO^4$.

Dans les sulfates hydratés, on doit mentionner l'epsomite $MgSO^4$, 7aq, la goslarite $ZnSO^4$, 7aq, la morénosite $NiSO^4$, 7aq, orthorhombiques.

Dans les tungstates et molybdates s'inscrivent schéelite $CaWO^4$, stolzite $PbWO^4$, wulfénite $PbMoO^4$, quadratiques; et dans les phosphates, apatite $3CaO, P^2O^5 + \frac{1}{3} Ca(ClFl)^2$, pyromorphite $3PbO,P^2O^5 + \frac{1}{3} PbCl^2$, mimétèse $3PbO,As^2O^5 + \frac{1}{3} PbCl^2$, vanadinite $3PbO,P^2O^5 + \frac{1}{3} PbCl^2$, hexagonales.

CHAPITRE PREMIER

DIAMANT ET COMBUSTIBLES

Diamant (C). — Cristallise dans le système cubique.

Forme dominante : Octaèdre régulier a^1 à faces souvent planes ou portant quelquefois des impressions triangulaires. Octaèdres et cubes souvent maclés suivant a^1. Fréquemment on rencontre l'octotrièdre $a^{1/2}$ ou l'hexoctaèdre $b^1 b^{1/2} b^{1/3} = i$ (fig. 186) à faces arrondies (diamant sphéroïdal).

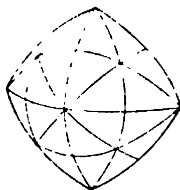


Fig. 186.

Clivages a^1 parfaits. Souvent masses enchevêtrées, sans clivage (Boort). Souvent la transparence est parfaite. Couleurs : inco-

lore, jaunâtre, verdâtre, quelquefois noire, plus rarement rose et exceptionnellement bleue. Éclat gras particulier au diamant sur les faces des cristaux. Éclat dit adamantin, caractéristique, ressemble à celui de l'argent pour une faible incidence de la lumière réfléchie, relié au fort indice de réfraction.

L'indice de réfraction $n = 2,408$ pour le rouge du lithium, 2,417 pour le jaune du sodium, 2,425 pour la flamme du thallium. Le coefficient de dispersion est considérable (0,044), et il explique les feux, l'étalement des riches couleurs qu'on voit dans le diamant. L'angle limite de la réfraction 24°18′ explique l'éclat opulent dont il brille. Une variété, dite *carbonado*, se rencontre en masses irrégulières, grisâtres et amorphes, à croûte noire.

Densité : 3,52 à 3,53 (régent) ; 3,2 (carbonado).

Dureté caractéristique : 10.

On observe quelquefois des anomalies optiques dues à des inclusions qui se colorent en lumière polarisée ou qui exercent une tension intérieure sur certains points des cristaux accidentellement. On a aussi observé dans le diamant des traces d'hémiédrie tétraédrique.

Gisements. — Le diamant est très rare dans des schistes cristallisés (itacolumites du Brésil). Il se rencontre surtout dans des alluvions, dans l'Inde, disséminé dans des couches d'argile et de sable, au Brésil, dans des conglomérats ferrugineux (*cascalho*).

Sur les confins de la colonie du Cap et des États libres du fleuve Orange, des plaines incultes, à sol meuble, superposé à un calcaire au-dessous duquel s'étendent des grès et des schistes, au-dessus d'une roche éruptive peu épaisse, montrent çà et là des sortes de puits verticaux remplis d'une boue serpentineuse. C'est dans quelques-uns de ces puits que se rencontre le diamant disséminé au milieu de débris d'éclogite, de zircon, de grenats, de chlorite. Ici le gisement est vertical, contrairement à ceux des alluvions.

Reproduction. — Le diamant a été obtenu par M. Moissan au moyen de la pression que la fonte exerce sur les matières qu'elle

renferme, lorsqu'on la force à se contracter par un refroidissement brusque. Un cylindre de fer doux rempli de charbon de sucre fortement comprimé et fermé par un bouchon à vis est introduit, au milieu d'un bain liquéfié de fer doux, dans un creuset fabriqué avec une brique de chaux vive et porté lui-même dans un four électrique à une température qui peut atteindre 3000°, celle de la fusion de la fonte. On refroidit brusquement le creuset dans un seau d'eau, puis on expose à l'air. En dissolvant tout le fer, M. Moissan a obtenu comme résidu de petits diamants transparents et d'autres noirs avec du graphite et du charbon amorphe, association qui se rencontre dans la météorite du Cânon Diablo.

Graphite. — Deuxième forme dû carbone.

Masses laminaires, schisteuses, grenues, plus rarement fibreuses, noires, à éclat métallique, parfois en lamelles hexagonales, sur les bords desquelles on a pu observer les faces d'un rhomboèdre (pp = env. 85° et demi); la base a^1 est parallèle au plan des lames pa^1 = 58°. Densité : 1,9 à 2,3. Dureté : 1 à 2. Clivage facile a^1. Très lentement combustible. Une pâte de graphite, de chlorate de potasse et d'acide azotique, chauffée deux ou trois jours à 68°, puis traitée par l'eau et, après décantation, soumise deux ou trois fois à la même opération, finit par donner, après dessication, des plaques brunes d'acide graphitique.

Le graphite forme des amas puissants qui traversent des terrains anciens ; il est quelquefois disséminé en lamelles à la manière du mica dans les roches cristallisées schisteuses ou même éruptives.

Charbons d'origine végétale (*combustibles minéraux*).

Anthracite. — Densité : 1,4 à 1,7 ; dureté : 2 à 2,5. Éclat métallique ; cassure conchoïdale, couleur de l'encre de Chine ; poussière noire ; ne s'embrase qu'à une température élevée et s'éteint immédiatement au sortir du foyer ; ne donne pas de gaz.

Houille (*steinkohle, charbon de pierre*). — Densité : 1,2 à 1,5 ; dureté : 2 à 2,5. Cassure conchoïdale, texture compacte ou feuilletée. Couleur noire ; parfois irisée ; poussière noire ; éclat vif ou terne ; quelquefois tache les doigts ; elle est fragile.

Elle brûle avec une flamme jaunâtre, en dégageant une odeur caractéristique, bitumineuse. En vase clos, elle abandonne des hydrogènes carbonés et en même temps des vapeurs *ammoniacales*, huileuses, et laisse pour résidu le coke.

On appelle *grisou* le gaz qui se dégage de la houille, souvent pendant l'abattage, en faisant entendre un léger craquement, comme s'il était comprimé dans la masse et qui est CH^4, de l'*hydrogène protocarboné*. Une variété appelée *boghead*, qui brûle avec une flamme brillante et donne beaucoup de gaz, un peu translucide et rouge sur les bords, se rapproche du bitume.

Lignites. — Densité : 1,2 à 1, 4; ils ont quelquefois conservé la texture originelle du bois; ils sont compactes, à cassure conchoïdale; quelquefois terreux (*terre d'ombre* ou *de Cologne*); ils sont superficiellement noirs (*jayet* ou *jais*, pouvant recevoir un beau poli), ou bien ils sont jaunâtres. La poussière est brune. Ils sont facilement combustibles, et en dehors de la flamme ils peuvent continuer à brûler. A la distillation, ils donnent de l'eau, des vapeurs *acides*, des huiles plus ou moins foncées, et brûlent avec une odeur d'oignon brûlé.

Tourbes. — Ce sont des amas de conferves, mêlées à des débris de végétaux de toutes sortes partiellement altérés. Densité : 1 environ. Brûle facilement; à la distillation, donne de l'eau chargée d'acide acétique, des gaz, et laisse du charbon.

Bitumes. — Carbures d'hydrogène, mélangés de produits plus ou moins oxydés, les uns fluides, comme le *pétrole*, les autres solides, comme l'*asphalte* ou *poix minérale*. Ils imprègnent des roches poreuses de tous les étages ; ils s'élèvent du fond de la Caspienne en bouillonnant et se mêlant sur ses bords aux émanations salines dans les volcans de boue, au nord de Bakou ; ils se dégagent sous la forme gazeuse à la surface du sol (fontaines ardentes de Porretta, sources de feu de la Chine) ; ils se mêlent aux eaux puantes et lourdes de la mer Morte. Les uns en attribuent l'origine à des produits de distillation des charbons fossiles; pour d'autres, ce sont des émanations venues des profondeurs

où se seraient combinés directement l'hydrogène et le carbone.

Asphalte. — Matière solide ou glutineuse, d'un noir de poix, à cassure conchoïdale, à éclat quelquefois brillant. Elle brûle à 100° avec une flamme fuligineuse. Densité de 1 à 1,7 ; soluble en grande partie dans l'éther où elle laisse comme résidu l'*asphaltène*.

Albertite. — Matière très voisine de l'asphalte.

Pétrole (*huile de pierre, malthe*). — Liquide visqueux, brun en lumière transmise, verdâtre par réflexion. A la distillation, il donne, avant 100°, les *éthers du pétrole*, huiles légères, à densité 0,65 ; jusqu'à 120°, du *naphte*, de densité 0,7 environ ; jusqu'à 200°, des *huiles d'éclairage*, de densité 0,78 à 0,8, et, vers 400°, des huiles lourdes, de densité 0,9 ; enfin, de la paraffine.

A la suite des bitumes, se placent un grand nombre d'hydrocarbures, quelques-uns cristallisés, parmi lesquels on doit mentionner l'*ozocérite*, d'un vert poireau par réflexion, d'un brun jaunâtre ou hyacinthe en lumière transmise, de densité 0,98 ; l'*élatérite* ou bitume élastique, à odeur bitumineuse, d'un brun tirant sur le vert.

Résines fossiles. — On peut citer le copal fossile, à odeur aromatique, résineuse, quand on le brise, qui fond à la flamme d'une bougie ; le dysodyle, qui imprègne des schistes siliceux formés par des infusoires, divisible en feuillets extrêmement minces, interposé entre des lignites à Westerwald, près Ralt, au nord des Sept Montagnes, qui donne en brûlant des produits volatils infects et, avant tout, l'ambre.

Ambre. — Contenant C, 78,44 ; H, 10,53 ; O, 10,53.

L'ambre est une matière solide, résineuse, transparente ou translucide, d'un jaune de miel, parfois roussâtre, ayant pour densité 1,08, devenant électrique par le frottement, assez soluble dans un mélange d'alcool et d'essence de térébenthine, insoluble dans l'essence de cajoput qui dissout le copal.

Chauffé dans un tube fermé, l'ambre fond à 187°, se boursouffle, puis se décompose à une température plus élevée, en produisant de l'eau, des carbures d'hydrogène en partie huileux, et le plus

ordinairement de l'acide succinique, qui se condense en aiguilles soyeuses, blanches, dans les régions plus froides ; enfin, le résidu finit par entrer en ébullition en donnant lieu à un dépôt d'une cire jaune.

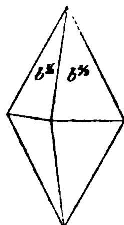


Fig. 187.

Soufre (S). — Cristallise en octaèdres orthorhombiques (fig. 187).

$$mm = 101^\circ 16' \quad b^{1/2}b^{1/2} = 106^\circ 40' \text{ en avant ;}$$
$$b^{1/2}b^{1/2} = 85^\circ 8' \text{ de côté.}$$

Autres formes assez fréquentes : $b^{1/4}$, p, e^1.

Plan des axes optiques g^1. Bissectrice aiguë verticale positive. Densité : 2,07 ; dureté : 1,5 à 2,5.

Couleurs : jaune, *sui generis*, jaune serin, parfois verdâtre, plus rarement brun de foie.

Combustible ; dégage en brûlant une odeur piquante de SO^2. Facilement fusible ; soluble dans le sulfure de carbone, d'où il se dépose en octaèdres semblables à ceux de la nature.

Sélénium. — On ne le connait dans la nature qu'à l'état de séléniure. On le trouve pourtant allié au soufre sous la forme de croûtes orangées mêlées à du salmiac, dans le cratère de Volcano, dans les îles Lipari.

Tellure. — Cristallise en masses granulaires, souvent clivables suivant les faces d'un prisme hexagonal, régulier, et quelquefois en cristaux petits portant des faces rhomboédriques. Formes dominantes :

$$p,\ a^1,\ e^{1/2},\ e^2 \qquad pp = 86^\circ 1' \qquad pa^1 = 122^\circ 94'.$$

Clivages e^2 parfait, a^1 net. Couleur blanc d'étain. Densité : 6,1 à 6,3. Dureté : 2,5 ; un peu malléable. Brûle au chalumeau avec une flamme d'un bleu bordé de vert. Dans le tube ouvert, il donne TeO^2 fusible en gouttelettes limpides. L'acide sulfurique concentré acquiert lentement, et plus vite, si on chauffe légèrement, une coloration d'un rose pourpre, par le tellure métallique.

Le grand axe de l'ellipsoïde isotherme du tellure est vertical ; l'axe horizontal vaut 0,78 en prenant le vertical = 1.

CHAPITRE II

ARSENIC, BISMUTH, ETC.

Arsenic natif (As).— Masses granulaires, d'un gris d'acier assez vif dans la cassure fraîche, mais généralement enduites d'une croûte noire quand elles restent exposées à l'air. Souvent les petites masses d'arsenic natif sont testacées, formées de couches qui se recouvrent comme celles dont sont faites les coquilles.

On a trouvé à plusieurs reprises, dans des cheminées d'usine, des cristaux nets rhomboédriques où domine a^1.

$pp = 85°6'$; $pa^1 = 121°42'$. Clivage parfait a^1; b^1 imparfait. $b^1b^1 = 113°59'$. Densité : 5,74. Dureté : 5. Le grand axe de l'ellipsoïde isotherme est horizontal. Il vaut 1,15 à 2.

Antimoine natif (Sb). — En petites masses cristallines lamellaires, où les plans de clivage obtenus par cassure se croisent dans de nombreuses directions ; d'un blanc d'étain ou d'argent ; à éclat métallique.

Les cristaux nets sont rares ; on en a obtenu artificiellement de très faciles à étudier, identiques à ceux de la nature. Ce sont des rhomboèdres $pp = 87°7'$, modifiés par a^1. Ils se clivent très nettement suivant a^1, moins distinctement suivant b^1, puis suivant e^1 et d^1. Souvent sur les bases on observe des stries triangulaires.

Densité : 6,70. Dureté : 3 à 3,5 ; peu malléable. Propriétés thermiques : le grand axe de l'ellipse isothermique sur d^1 est horizontal ; il vaut 1,59 en prenant l'axe vertical pour unité.

Une variété testacée, grenue, d'un gris de plomb, contient de l'arsenic (allemontite, d'Allemont, Isère).

Bismuth natif (Bi). — En petites masses ramifiées ou lamellaires dans le quartz, le jaspe, le calcaire et la barytine. Les cristaux dérivent d'un rhomboèdre $pp = 87°40'$ qui se clive suivant

a^1, moins distinctement suivant e^1 et très difficilement suivant b^1.

Densité : 9,8 environ. Dureté : 2,5 ; cassant. Couleur : blanc avec irisations jaunâtres ou rougeâtres. Éclat métallique. Le grand axe de l'ellipsoïde isotherme est franchement horizontal.

Caractères distinctifs du bismuth, de l'arsenic et de l'antimoine. — Le bismuth se distingue facilement au chalumeau par l'auréole orangée et le globule cassant qu'il donne sur le charbon. L'arsenic et l'antimoine y produisent, dans les mêmes conditions, des auréoles blanches, accompagnées de fumées épaisses. L'arsenic dégage, quand on le chauffe à l'air, une odeur d'ail.

Lorsque l'arsenic et l'antimoine sont mélangés, on peut faire passer, sur les auréoles obtenues au chalumeau dans un tube ouvert, de l'hydrogène sulfuré sec, à une température modérée. On prend pour cela un tube dont on recourbe à angle droit l'extrémité où s'est formé le dépôt, et l'on plonge l'autre dans une petite quantité d'eau ; puis on fait arriver dans le tube de l'acide chlorhydrique gazeux qui transforme en chlorure le sulfure d'antimoine. Le chlorure est volatilisé avec une lampe à esprit de vin, se dissout dans l'eau, où on le précipite de nouveau par l'hydrogène sulfuré. Quant au sulfure d'arsenic resté inaltéré dans le tube, on le dissout à l'aide de quelques gouttes d'ammoniaque, et la liqueur, évaporée avec précaution dans une petite capsule de porcelaine, dépose du suifure jaune d'arsenic.

Réalgar (As^2S^2 ou AsS). — En prismes clinorhombiques.

$mm = 74°26'$; $ph^1 = 113°55'$.

Clivages g^1 parfait ; puis p, h^1, m, moins parfaits. Densité : 3, à 3,6 ; dureté : 1,5.

Bissectrice aiguë négative faisant 13° avec l'arête g^1h^1.

L'ellipse isotherme sur p a son grand axe parallèle à la trace de g^1.

Couleur d'un rouge aurore ou cochenille ; poussière d'un jaune orangé. Les cristaux se désagrègent à la lumière ; ils ne restent intacts que sous des verres rouges.

Donne, au chalumeau, les caractères de l'arsenic.

Sulfures d'arsenic, d'antimoine, de bismuth. — Orthorhombiques.

Orpiment (As^2S^3). — Orthorhombique.

$mm = 94°22'$; $a^1a^1 = 82°34'$. Faces ordinairement arrondies à cause de leur mollesse. Clivage g^1 très facile, puis p. Face g^1 striée verticalement. Plan des axes optiques g^1. Bissectrice aiguë positive normale à h^1.

Densité : 3,48. Dureté : 1,5 à 2. Lamelles flexibles, non élastiques, rayées par l'ongle.

Translucide. Éclat nacré sur g^1, résineux sur les autres. Couleur jaune citron ou orangé vif ; reflets d'un jaune doré ; poussière d'un jaune citron.

Dans le tube fermé, donne un sublimé jaune. Odeur d'ail, au chalumeau, sur le charbon, etc.

Ellipsoïde isotherme. a étant l'axe normal à h^1, b l'axe normal à g^1, c l'axe vertical, on a :

$$a : b : c = 1,43 : 0,61 : 1.$$

Stibine (Sb^2S^3). — $mm = 90°26'$; $mb^{1/2} = 145°19'$; $g^1b^{1/2} = 125°22'$.

Clivage g^1 très facile ; m, h^1 imparfaits ; m striée verticalement. Densité : 4,5 à 4,6. Dureté : 2. Opaque ; tache le papier. Allongement dans la zone mg^1 ; souvent bacillaire, aciculaire. Éclat métallique, souvent brillant. Couleur gris de plomb à gris d'acier ; parfois des irisations. Fond à la simple flamme d'une bougie. Au chalumeau, caractères de l'antimoine. Soluble dans l'acide azotique.

Ellipsoïde isotherme. $b : c = 0,564$.

Bismuthine (Bi^2S^3). — $mm = 91°52'$; $a^1a^1 = 89°$ sur p.

Clivages : même ordre que ci-dessus. Cristaux allongés et striés longitudinalement. Souvent aciculaire.

Densité : 6,5. Dureté : 2 à 2,5. Éclat métallique, parfois terni superficiellement. Couleur gris d'acier souvent jaunâtre. Fusible à la flamme d'une bougie. Au chalumeau, caractères du bismuth. Soluble dans l'acide azotique.

OXYDES D'ARSENIC, D'ANTIMOINE ET DE BISMUTH.

Les acides arsénieux et antimonieux sont isodimorphes.

Arsénolithe (As^2O_3). — Cubique. Octaèdres réguliers a^1 clivables suivant leurs faces, brillants, à éclat vif, incolores. Densité : 3,75. Dureté : 1,5. Indice de réfraction : 1,755 pour la raie D.

Senarmontite (Sb^2O^3). — Cubique. Octaèdres réguliers avec clivages a_1, plus ou moins brillants, à éclat un peu adamantin. Densité : 5,25, Dureté : 2,5, Indices de réfraction : 2,073. Anomalies optiques très nettes.

Claudétite (As^2O^3).— Clinorhombique. Plan des axes optiques dans g^1 ; bissectrice aiguë faisant — 5° avec l'arête h^1g^1. $mm =$ 135°58′. $o^1h^1 =$ 133°36′.

Valentinite (*exitèle*) (Sb^2O^3). — $mm =$ 137°12′. Plan des axes : p pour le rouge, g^1 pour le bleu ; bissectrice aiguë négative normale à h^1. Clivage g^1 ; aiguilles brillantes à éclat nacré, incolores, souvent encroûtés d'un oxyde jaunâtre. Densité : 4,36.

Bismuthite (Bi^2O^3). — Densité : 4,36. Rare et peu étudiée.

Oxydes d'antimoine terreux. — On peut rencontrer l'antimoniate d'oxyde d'antimoine et des hydrates terreux, assez rares.

Cervantite ($Sb^2O^3 + Sb^2O^5$). — Antimoniate d'oxyde d'antimoine terreux. Provient de l'altération de la stibine et des sulfoantimoniures (*partzite*, *stétefeldite*, 7 à 8 o/o), noirâtre, brune, terreuse.

CHAPITRE III

MINERAIS DE FER

Minerais de fer. Fer terrestre — En grains, rare ; se rencontre en masses importantes sur la côte de l'île Disko, à Ovifak (Finlande) et au Groënland, dans les massifs basaltiques dont les nappes immenses, visibles du 69° au 76° lat. N., disparaissent

sous le glacier continental. Au moyen d'une dissolution de sulfate de cuivre, on en signale, au microscope, l'existence dans beaucoup de basaltes. Ce fer contient ordinairement du nickel.

Le fer cristallise dans le système cubique, se clive suivant les faces d'un octaèdre régulier a^1.

Densité : 7 à 7,8. Dureté : 1,5 à 5.

Fer météorique. — On sait que les météorites se rattachent aux bolides ; que, échappées des espaces intercosmiques, elles tombent quelquefois sur la terre, tantôt en masses qui peuvent atteindre quelques centaines de kilos, tantôt en poussières presque imperceptibles. Les météorites composées de fer métallique contiennent en réalité jusqu'à 20 o/o de nickel. Les bornes de cet ouvrage ne nous permettent pas de nous étendre sur ce sujet si intéressaut sant, qui sort des études de la pétrographie proprement dite.

Loelingite (*leucopyrite*) ($FeAs^2$). — Orthorhombique.

$mm = 112°27'$; $e^3e^3 = 135°19'$. Densité : 7 à 7,2 ; dureté : 5 à 5,5.

Éclat métallique ; couleur d'un blanc d'argent ; poussière noire. Au chalumeau, difficilement fusible en globule magnétique. Donne les caractères de l'arsenic et du fer.

Mispickel [$Fe\,(As,S)^2$]. — Orthorhombique.

$mm = 112°47'$; $a^1a^1 = 120°38'$ en avant ; $e^1e^1 = 99°56'$; $e^1e^4 = 146°$.

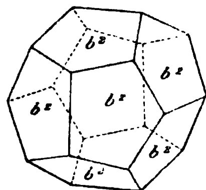
Groupements suivant a^1. Clivages *mm*. Éclat métallique. Couleur blanc d'argent à gris d'acier ; poussière noire. Dans le tube fermé, donne sublimé de sulfure d'arsenic, puis un anneau métallique soluble dans l'acide azotique ; accompagne les minerais de plomb, de cuivre, d'étain, la blende.

Pyrite. — Cubique ; première forme de bisulfure de fer (FeS^2). Contient quelquefois de l'or, de l'argent, des traces d'arsenic ; dans quelques variétés, on a signalé du thallium.

Formes dominantes :

$$p,\ a^1,\ \frac{1}{2}b^2,\ \frac{1}{2}(b^1b^{1/2}b^{1/3}),\ \frac{1}{2}(b^1b^{1/2}\ b^{1/3})$$

(dodécaèdres pentagonaux (fig. 188) et solides à 24 faces appartenant à la parahémiédrie cubique). On y rencontre aussi des trapézoèdres, des octotrièdres et le dodécaèdre rhomboïdal, formes que la parahémiédrie n'affecte pas.


Fig. 188.

Les faces adjacentes du cube sont souvent marquées de stries parallèles dans trois directions rectangulaires; on retrouve ces stries quelquefois sur les faces du dodécaèdre pentagonal.

Thermoélectricité. — Les cristaux se partagent en deux groupes, les uns positifs, les autres négatifs par échauffement.

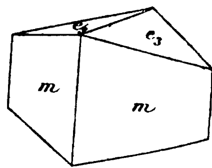
Dureté : 6,5. Densité : 4,9 à 5,2. Éclat métallique. Couleurs : jaune de laiton, jaune d'or, rarement irisé. Poussière d'un brun noirâtre.

Dans le tube fermé, elle donne du soufre.

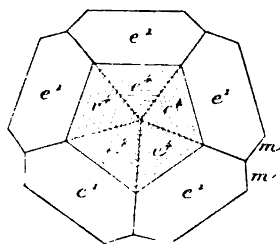
Altérée en limonite, en oligiste, qui gardent leurs formes.

Marcasite (deuxième forme de FeS^2). — Orthorhombique.

$mm = 105° 5$; $a^1a^1 = 116°20'$ en avant; $e^1e^1 = 101°58'$ latéral.


Fig. 189.

Formes dominantes : p, m, e^1, e^3 (fig. 189) montrant le prisme m et le dôme e^3 ; e^1, a^1, octaèdres rectangulaires; m, e^3, prisme avec dôme.


Fig. 190.

Groupements : 1° *régulier*, en verticille, autour d'un axe parallèle à *mm* (fig. 190) représentant cinq cristaux qui ne laissent voir extérieurement que les dômes e^1, e^4. Les prismes s'associent par leurs faces *m*; les angles aigus des cinq cristaux donnant pour somme 375°, le cinquième remplit comme il peut la différence entre 360 et 300 que les quatre autres lui laissent.

2° *Irréguliers*. Les cristaux se présentent, tantôt suivant les rayons des sections droites de sortes de cylindres, tantôt autour d'un ou de plusieurs centres, formant des sortes de nodules, qui ressemblent parfois à des fruits pyritisés.

Souvent altéré, le sulfure passe à l'état de sulfate, puis de limonite.

Densité : 4,65 à 4,8. Dureté : 6 à 6,5. Éclat métallique ; jaune de bronze pâle, rarement d'un jaune de laiton vif, souvent d'un jaune livide, parfois légèrement verdâtre. Poussière d'un noir verdâtre.

Pyrrhotine (pyrite magnétique) (Fe^nS^{n+1}). — $n = 6,7$ ou 11. Formes : prisme hexagonal pm ; $pb^1 = 134°53'$. Clivage p. Densité : 4,4 à 4,7. Dureté : 4. Éclat métallique. Couleur jaune de bronze, tendant au rouge. Poussière noir grisâtre.

Les cristaux ont le magnétisme polaire. Dans l'ellipsoïde isotherme de rotation, les grands axes sont horizontaux. L'acide chlorhydrique en dégage de l'hydrogène sulfuré.

Troïlite (FeS). — Mêmes caractères que la pyrrhotine. Broyée avec du bisulfate de potasse en cristaux, elle dégage de l'hydrogène sulfuré.

Berthiérite ($FeS + Sb^2S^3$). — En prismes allongés, en masses à clivage longitudinal, plus ou moins distinct. Dureté : 2,5 ; densité : 4 à 4,3. Éclat métallique ; couleur d'un gris brunâtre. Fusible au chalumeau. Dans le tube bouché, donne un sublimé de sulfure d'antimoine et, avec l'acide chlorhydrique, de l'hydrogène sulfuré.

Magnétite ($Fe^3O^4 = FeOFe^2O^3$). — C'est le type métallique du groupe des spinelles (fer, 72 o/o).

Formes octaèdres réguliers a^1 ; dodécaèdre rhomboïdal b^1 à faces souvent striées suivant leurs grandes diagonales (fig. 191). Macles avec hémitropie suivant le plan a^1 (octaèdres transposés) ; clivages difficiles a^1.

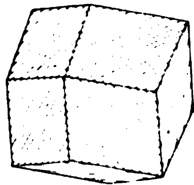


Fig. 191.

Densité : 4,9 à 5,2. Dureté : 6 à 6,5. Couleur noire de velours.

Éclat plus ou moins métallique. Poussière d'un noir pur. Agit fortement sur le barreau aimanté. Variétés laminaires, grenues, terreuses; celles-ci surtout, lorsqu'elles sont mêlées de parties brunâtres, terreuses, ont quelquefois des propriétés magnétopolaires d'une grande intensité.

Difficilement fusible au chalumeau, soluble lentement dans l'acide chlorhydrique concentré bouillant. L'on rencontre dans beaucoup de roches, surtout dans les basaltiques, des cristaux de magnétite, qui, dans les sections minces observées au microscope, ont pour caractères d'être opaques et de se présenter en espèces de chapelets, de groupes arborescents, de masses à contours rectilignes scalariformes, où l'on retrouve les côtés des sections quadratique, hexagonale, etc., des cristaux qui les forment.

A la magnétite se rattachent certains fers titanés (isérine, par exemple); on les observe en octaèdres ou en grains anguleux dans un grand nombre de roches volcaniques, pesant environ 5, à cassure conchoïdale et contenant des proportions variables d'acide titanique, jusqu'à 12 o/o, et, dans certaines variétés, 16 o/o, d'après Cordier.

Magnésioferrite [(Mg, Fe)OFe^2O^3]. — En octaèdres réguliers noirs, du Vésuve, à densité 4,65.

Jacobsite (de Damour). — Agrégats grenus où l'on observe des faces de l'octaèdre régulier contenant 68,25 oxyde de fer, 4,21 sesquioxyde de manganèse, 20,57 oxydule de manganèse, 6,41 magnésie [(Mn, Mg)O(Fe^2Mn^2)O^3]. Densité : 4,75.

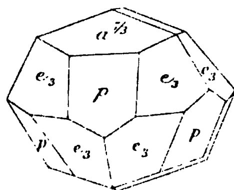


Fig. 192.

Francklinite [(Fe, Mn, Zn) OFe^2O^3]. — Très beaux octaèdres réguliers, noirs, éclatants. Densité : 5,5; dureté : 6 à 6,5.

Dysluite [(Zn, Mn)O (Al^2, Fe^2)O^3]. — Densité : 4,55.

Oligiste (Fe^2O^3) (fer 70 o/o). — Isomorphe du corindon et de Cr^2O^3. Formes rhomboédriques $pp = 86°10'$; $pa^1 = 122°30'$.

Faces dominantes : p, a^2 ou $a^{7/3}$, e_3, cristaux de l'île d'Elbe

(fig. 192) ; p, a^1, e_3, d^1, cristaux de Framont; p, a^1, etc. (fig. 193), cristaux du Vésuve.

La base est souvent marquée de stries qui se coupent sous des angles de 60°. Macles parallèles à a^1 et à p.

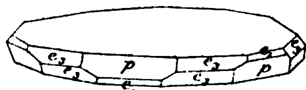


Fig. 193.

Variétés : bacillaires, fibreuses, lamellaires, écailleuses, grenues, compactes, terreuses (ocre rouge), pisolithiques, oolithiques. Densité : 5,3 ; dureté : 6.

Clivage a^1 rare, parfois p.

Propriétés thermiques. — L'ellipsoïde isotherme de révolution a son petit axe vertical. Les axes horizontaux valent 1,1, b vertical étant pris pour unité.

Éclat vif, métallique; irisations superficielles, brillantes dans les cristaux de l'île d'Elbe. Poussière rouge, d'un rouge violacé dans les cristaux bien frais.

Souvent l'oligiste remplace d'autres matières, dont il conserve les formes, la pyrite, par exemple, la magnétite (martite, cristaux à forme de magnétite, à poussière rouge) et même des coquilles; il est quelquefois lui-même altéré en limonite.

Au chalumeau, sur le charbon, il se transforme au feu de réduction en Fe^3O^4; il donne les caractères du fer. Soluble en poudre fine dans l'acide chlorhydrique concentré, bouillant.

Ilménite [$(Fe, Ti)^2O^3$] (fer titané). — Isomorphe de l'oligiste, Les proportions de fer et de titane sont très variables et ont fait donner des noms divers aux mélanges. Dans l'ilménite, on observe un rhomboèdre $pp = 86°$, des faces e^1, la base a^1 et l'isocéloèdre e_2 réduit par hémiédrie à la moitié de ses faces sous la forme d'une double pyramide trigonale t. Clivages a^1, moins nets p.

Variétés : agrégats grenus et écailleux ou grains cristallins, quelquefois en sable (ménacanite).

Dureté : 5 à 6; densité : 4,58 à 6,2. Éclat métallique. Couleur d'un noir de fer tendant au brun. Poussière d'un noir ou d'un rouge brunâtres.

Goethite (Fe^2O^3,H^2O). — Cristaux très petits, brunâtres, orthorhombiques. $mm = 94°63'$; $b^{1/2} b^{1/2} = 126°18'$ sur a^1. Clivage g^1. Plan des axes optiques p; bissectrice aiguë positive normale à g^1.

Densité : 3,8 à 4,2 ; dureté : 5 à 5,5. Éclat vif; couleur brune; poussière jaune brun.

Limonite (*hématite brune*) ($Fe^2O^3,3H^2O$) (60 o/o de fer). — Terreuse, fibreuse, compacte, pisolithique, oolithique, empruntant quelquefois les formes de la pyrite, de l'oligiste, du calcaire, de la blende, du quartz, souvent concrétionnée en mamelons stalactitiques. Opaque. Densité : 3,6 à 4. Dureté : 5.

Couleur parfois noire superficiellement ; quelquefois irisée à la surface; poussière jaune caractéristique.

Propriétés thermiques. — Les variétés fibreuses sont assez intéressantes ; elles sont en réalité cristallisées ; elles ne contiennent pas généralement autant d'eau que les terreuses.

On obtient sur une plaque parallèle aux fibres des ellipses dont le grand axe oscille autour de 1,3, rapport beaucoup plus grand que pour l'oligiste ; ce rapport n'a pas encore pu être déterminé dans la gœthite; mais, dans ces variétés fibreuses, à coloration de poussière se rapprochant tantôt du rouge et tantôt du jaune, le grand axe vaut de 1,17 à 1,3, parallèlement aux fibres, le perpendiculaire étant pris pour unité. Aussi croyons-nous que les variétés fibreuses rouges sont des limonites fibreuses, plus ou moins voisines de la gœthite et plus ou moins déshydratées.

Sidérose [$CaCO^3$ ou $CaOCO^2$) (*fer spathique*, contenant fer 48 o/o). — Isomorphe du calcaire; rhomboédrique. $pp = 107°$; forme dominante p ; formes plus ou moins fréquentes e^3, b^1, e^1, d^2. Clivage p. Groupements : au travers des rhomboèdres primitifs, on aperçoit souvent des lamelles hémitropes parallèles à b^1, comme dans le calcaire. Masses laminaires ; parfois en nodules terreux, contenant des fossiles ; variété oolithique aux environs de Paris.

Densité : 3,83 à 3,88. Dureté : 3,5.

Axe optique négatif.

Couleurs jaunâtre, presque incolore, à éclat vif, brun jaunâtre,

devenant souvent de plus en plus noir à l'air. Poussière d'un blanc jaunâtre.

Ellipsoïde isotherme de rotation à grands axes horizontaux.

Au chalumeau, décrépite, noircit, devient magnétique, ne fait effervescence dans les acides qu'avec l'aide d'une douce chaleur.

Beaucoup de variétés contiennent de la magnésie, de la chaux et souvent du manganèse, ce qui explique le dégagement de chlore qui se produit, lorsqu'on les dissout dans l'acide chlorhydrique (voyez aux carbonates de magnésie).

Variétés : *sphérosidérite*. Concrétions ou rognons de sidérose, à structure fibreuse, jaune ou jaune rougeâtre des basaltes et dolérites ; variétés terreuses, en rognons à cassure plate, renfermant des restes de sauriens et de poissons (*carbonate lithoïde des houillères*) ; oolithique qu'on retrouve jusque dans les argiles d'Issy-Paris.

Vivianite ($3FeO, P^2O^5 + 8aq$). — Système monoclinique. $mm = 108°10'$; $ph^1 = 104°18'$; $pe^1 = 145°53'$; $b^{1/2}m$ adj $= 134°16'$. — Formes dominantes : m, h^1, g^1, pe^1, $b^{1/2}$, h^2. Clivages g^1 parfait. Densité : 2,72. Dureté : 2.

Plan des axes perpendiculaire à g^1; bissectrice aiguë n_g fait un angle de 28°5' avec l'arête h^1g^1. Indice de réfraction : 1,592 pour la raie D. Transparente, la vivianite, presque incolore dans les filons, bleuit de plus en plus à l'air. Poussière bleu pâle très dichroïque ; la masse est bleue et verte.

Variétés terreuses (*cendres bleues*).

On rencontre quelquefois la vivianite dans les cavités géodiques des coquilles, ou colorant des dents fossiles d'éléphant.

Elle fond facilement au chalumeau en s'exfoliant et perdant de l'eau ; caractères du fer. Soluble dans les acides.

Pharmacosidérite ($4Fe^2O^3 3As^2O^5, 15aq$). — En cubes affectés de l'antihémiédrie $p, \frac{1}{2}a^1$, montrant la double réfraction, pyro-électriques (pseudo-cubiques pour Mallard). Densité : 2,9 à 3. Dureté : 2,5. Clivage p imparfait. D'un vert pistache, d'un jaune de miel ou brun.

Fusible au chalumeau en scories; donnant les réactions de l'arsenic et du fer. Soluble dans les acides.

Scorodite ($Fe^2As^2O^8 + 4$ aq ou $Fe^2O^3As^2O^5 + 4$ aq). — Clinorhombique. $mm = 98°8'$; $b^{1/2}b^{1/2} = 114°40'$ en avant; $b^{1/2}b^{1/2} = 102°52'$ de côté; $g^2g^2 = 59°56'$ clivables suivant h^1. Densité : 3,85; dureté : 3,5.

Vert poireau, noir verdâtre, bleuâtre, brunâtre. Soluble dans l'acide chlorhydrique en liqueur brune qui ne précipite pas par la solution d'or, décomposable par la solution de potasse, fusible au chalumeau.

Reproduite par MM. Léon Bourgeois et Verneuil.

Parmi les phosphates ou arséniates de fer, nous ne pouvons que mentionner : **strengite** ($Fe^2O^3P^2O^5 +$ aq); densité : 2,87; **béraunite** ($3Fe^2O^3 2P^2O^5 + 8$ aq); **dufrénite** (*kraurite*) ($2Fe^2O^3P^2O^5 + 3$ aq); **kakoxène** ($2Fe^2O^3P^2O^5 + 12$ aq); **arséniosidérite** ($3CaO$; $3Fe^2O^3$, $2As^2O^5 + 6$ aq), en fibres d'un jaune orangé à densité d'environ 3,85, à dureté 1 à 2.

Parmi les nombreux sulfates de fer, tous d'ailleurs assez rares, qu'on rencontre en concrétions, en stalactites, souvent fibreuses, en petits nodules massifs, en enduits étalés à la surface des roches, verdâtres, jaunâtres, jaunes, bruns, rougeâtre, de couleur amaranthe, on peut citer :

Mélantérie ($FeOSO^3$, $7H^2O$), qu'on obtient si facilement dans les laboratoires en prismes monocliniques.

$mm = 82°22'$; $ph^1 = 104°15'$; $pe^1 = 123°45'$.

Combinaisons observées p, m, g^1, o^1, e^1, $d^{1/2}$. Clivage p parfait. Dispersion inclinée. Bissectrice aiguë positive faisant 60°55' avec c. Indice de réfraction moyen : 1,470 pour la raie D. Densité : environ 1,85; dureté : 2. La solubilité dans l'eau de cette matière fait qu'on ne la rencontre guère qu'en stalactites ou en enduits fibreux.

Gisements. — Le fer est une des matières les plus abondamment répandues à la surface ou dans l'intérieur du globe. Il entre sans doute à l'état libre en grande quantité dans la composition

d'une nappe souterraine au-dessous des silicates ferrugineux, pyroxènes et péridots, qui amènent encore au jour les roches volcaniques.

La densité moyenne des laves ne dépasse 3 que dans les plus riches en péridot, et, au contraire, la densité moyenne du globe est de 5,56, d'après les observations de MM. Cornu et Baille.

Dans les terrains cristallisés ou primitifs, le fer oxydulé remplace quelquefois le mica, par exemple, dans les granites de fer de Dannemora; il constitue en Scandinavie, seul ou associé à l'amphibole, qui entraîne avec elle tout un cortège de silicates, grenats, épidot, paranthine, etc., des amas ou des couches dites *fahlbandes* au milieu des gneiss et des schistes chloriteux ou amphiboliques, surtout au voisinage des granites, comme à Utö, Arendal, Gellivara, Bastnaès (avec cérite et gadolinite). Les amas s'alignent bout à bout en chapelets de plusieurs kilomètres de longueur, certains d'entre eux apparaissant comme des montagnes divisées en zones alternativement riches et stériles par les gneiss qui les renferment : c'est ce qu'on voit au Taberg où la magnétite et l'amphibole forment une protubérance au milieu des gneiss. L'oligiste et la magnétite forment ensemble des couches puissantes intercalées dans les schistes cristallins de l'Amérique du Nord (bords du lac Champlain, État de New-York, etc.). Des gisements analogues s'observent en France, à Combenègre, près Villefranche (Aveyron); dans l'Oural, au milieu des schistes chloriteux, par exemple aux environs de Nischne-Turinsk.

Plus tard, le fer a fourni leur élément métallique à l'oligiste et aux pyrites accompagnés d'oxydes de titane dans les roches cumbriennes appelées *itabirites* au Brésil, dans la province de Minas-Geraes. On peut en rapprocher ces alignements de cristaux de magnétite si fréquents au milieu des ardoises de Deville (Ardennes).

Le fer oxydulé se rassemble encore en masses dans la serpentine, à Cogne, à Traverselle (val d'Aoste); dans ces gisements, le fer est souvent combiné au chrome, et c'est à l'état de fer chromé

qu'on le rencontre en amas ou en gros nodules dans la serpentine de l'Oural, de l'Écosse, de la Nouvelle-Calédonie, en France, sur les bords de la rade de Cavelaire, quartier des Quarrades (Var), etc.

A l'île d'Elbe, il se relie aussi aux serpentines de la partie orientale de l'île, et il remplit avec le quartz un puissant filon, près Rio, entre les couches schisteuses relevées sur le flanc de la montagne serpentineuse Sainte-Catherine; au mont Calamita, il se dresse sous des couches éocènes relevées, composées les unes de calcaires devenus cristallins et injectés de liévrite et d'amphibole, les autres d'argiles devenues schisteuses.

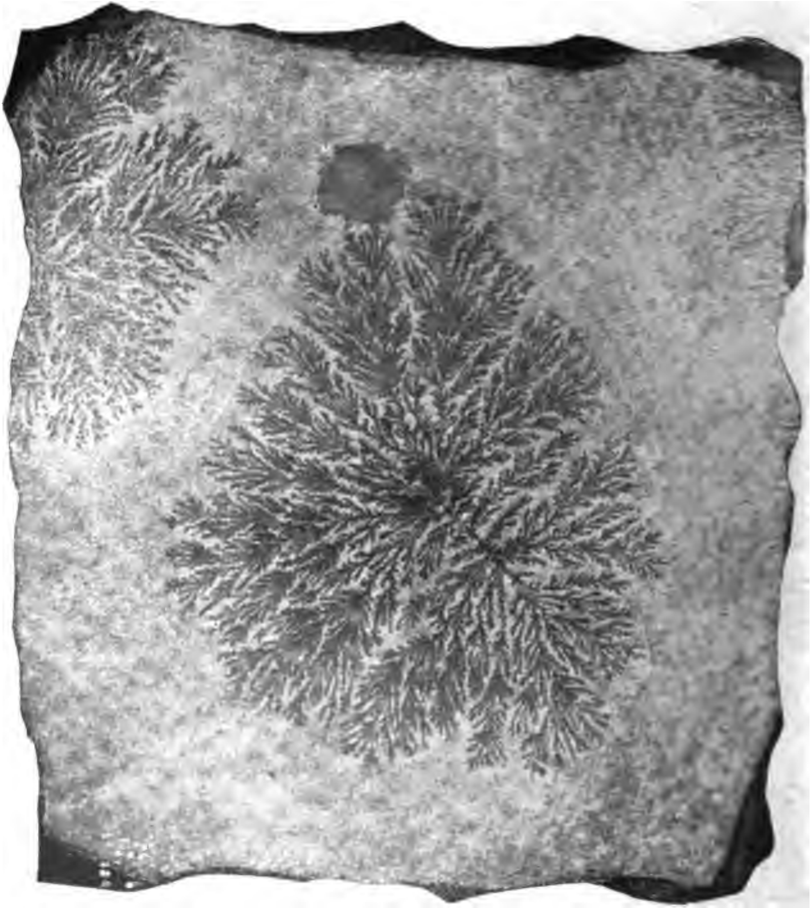
A Ranciè, près Vicdessos (Ariège), les oxydes de fer mêlés quelquefois d'oxydes de manganèse et de carbonates imprègnent, au point d'en faire un minerai, une des couches du terrain jurassique inférieur, formé aussi de calcaires cristallins et d'argiles schisteuses redressées verticalement.

Les minerais de fer abondent dans le Hartz en veines discontinues dirigées suivant les plans de clivage et de contact des schistes de transition et des amphibolites. A Framont, dans les Vosges, un amas d'oligiste s'est logé entre deux des couches alternes de schistes et de calcaires, presque verticales, contre lesquelles se dresse une masse de porphyre. C'est à l'état de carbonate à lamelles grandes (*maillat*) ou plus petites (*rives*) que le fer, ayant pour gangues du quartz, de la dolomie et autres carbonates de chaux, de magnésie et de fer, escorté de pyrites, de blende, souvent de fragments du toit, remplit les filons intercalés dans les grès triasiques et les schistes cristallisés d'Allevard (Isère). Les filons du pays de Müsen ont aussi du fer spathique pour minerai essentiel. Le fer spathique se présente aussi en amas ou en filons, dans la Styrie (masse de l'Erzberg), dans les Basses-Pyrénées, à Baigorry, dans les calcaires du zechstein, en Thuringe.

On ne pourrait dans un ouvrage aussi élémentaire énumérer les filons de pyrites, d'oxydes ou de carbonate de fer de l'Allemagne et des autres contrées.

Nous nous contenterons de citer, comme dernier exemple de

PLANCHE A



Dendrites de manganèse.

Ces dendrites sont de minces pellicules d'oxydes de manganèse qui affectent souvent la forme de plantes et qui se forment à la surface de différentes roches.

Vis-à-vis la page 273.

minerai de fer produit par des éruptions directes, l'oligiste auquel donne lieu l'action de la vapeur d'eau sur le chlorure de fer qui se dégage des volcans.

On trouve du fer colorant les roches en rouge, en jaune, en vert, ou même en noir, dans tous les terrains de sédiment proprement dits. Combiné au soufre dans les pyrites que renferment souvent les ardoises d'Angers, de Lourdes (Pyrénées), il colore le grès rouge du dévonien de l'Écosse, de l'Eifel (*vieux grès rouge*). Dans le terrain houiller, du carbonate de fer terreux en nodules ovoïdes renfermant des restes de sauriens constitue quelquefois presque des lits. Des oxydes de fer donnent aussi leur coloration au nouveau grès rouge du permien, au grès vosgien, aux grès bigarrés, aux argiles irisées du trias; le muschelkalk renferme quelquefois aussi des lits de limonite. Les dénominations d'oolithe ferrugineuse, de craie glauconieuse, de calcaire grossier glauconieux, montrent le rôle du fer dans les sédiments secondaires et tertiaires. On a donné le nom de formation *sidérolithique* à ces amas éocènes de limonite pisolithique (*bohnerz*) répandus dans les poches du calcaire jurassique du val de Délémont, et qu'on retrouve dans la Franche-Comté, en Bourgogne, dans la Nièvre, le Berri, etc.

CHAPITRE IV

MINERAIS DE MANGANÈSE

Alabandine (MnS) (63,15 o/o de manganèse). — Masses grenues, parfois en octaèdres réguliers composés de deux tétraèdres $\frac{1}{2}a^1$, clivables suivant les faces du cube; d'un noir de fer ou brune, de densité 4, de dureté faible 3,5 à 4. Elles donnent, quand on les broie avec du bisulfate de potasse cristallisé, de l'hydrogène sulfuré

Hauérite (MnS^2). — Cubique avec parahémiédrie, d'un roug. brunâtre, à éclat un peu adamantin, facilement altérable à l'air, de densité 3,46 (Mn, 46,19 o/o).

Pyrolusite (MnO^2). — En masses cristallines, hérissées quelquefois de très petits cristaux aciculaires. Orthorhombique.

$mm = 93°10'$; $pe^2 = 160°$. Souvent des faces h^1, h^3 qui donnent aux prismes un aspect cannelé.

Clivage très facile g^1. Couleur et poussière noire ; éclat métallique. Densité : 4,8. Dureté : 2,6.

Au chalumeau, donne de l'oxygène, du chlore quand on ajoute de l'acide chlorhydrique dans un tube bouché, et montre les caractères du manganèse.

On appelle **polianite** une matière qui a la composition de la pyrolusite, mais qui a une dureté beaucoup plus grande (6,5) et qui est quadratique. $b^{1/2}b^{1/2} = 122°04'$ adj.; $b^{1/2}b^{1/2} = 94°33'$ faces opposées.

M. Gorgeu l'a reproduite en décomposant très lentement, à 160° environ, de l'azotate de manganèse dans une fiole de verre aux 2/3 remplie.

Hausmannite (Mn^3O^4, qu'on écrit $2MnO,MnO^2$). — Octaèdres quadratiques. b^1b^1 adj. $= 105°50'$. Clivages p. Ellipsoïde isotherme de rotation : grands axes horizontaux. Éclat semi-métallique ; couleur noir brunâtre; poussière brun marron. Dureté : 5 à 5,5. Densité : 4,72.

Infusible au chalumeau. M. Gorgeu l'a reproduite en maintenant du chlorure de manganèse fondu au rouge cerise clair dans une atmosphère oxydante et chargée de vapeur d'eau.

Braunite (Mn^2O^3). — Octaèdres quadratiques, dont les paramètres sont incompatibles avec ceux de la hausmannite.

$b^{1/2}b^{1/2} = 108°39'$ à la base; $b^{1/2}b^{1/2} = 109°53'$ à la base. Clivages $b^{1/2}$. L'ellipsoïde isotherme de révolution a son grand axe vertical. Dureté : 6 à 6,5. Densité : 4,75..

Poussière brun foncé. Infusible au chalumeau.

Acerdèse (*manganite*) ($Mn^2O^3H^2O$). — Orthorhombique.

$mm = 99°40'$; $b^{1/2}b^{1/2} = 130°49'$ en avant.

Dômes e^1, a^1, $e^{1/2}$, etc. Les facettes nombreuses g^3, g^5, h^3, h^7 de la zone verticale donnent au prisme un contour irrégulier, cannelé. Souvent on y observe des facettes 1/2 ($b^1 b^{1/3} g^{3/5}$) d'un tétraèdre à faces inclinées. Macles fréquentes suivant e^1 ; les deux cristaux se pénètrent en formant une croix à branches obliques. Ellipsoïde isotherme : $a : b : c = 0{,}808 : 0{,}755 : 1$, a axe antérieur, b axe latéral, c axe vertical.

Variétés : concrétionnée, fibreuse, oolithique, écailleuse.

Éclat semi-métallique, brillant. Couleurs : gris d'acier, noir de fer. Poussière d'un brun foncé. Densité : 4,2 à 4,4. Dureté : 3,5 à 4. Elle accompagne la pyrolusite, qui revêt sa forme.

Psilomélane. — Bioxyde de manganèse combiné à de la baryte ou à de la potasse et à de l'eau, en concrétions, en nodules, parfois légèrement fibreux, mais plutôt amorphes ; à cassure conchoïdale, à dureté 5 environ, à densité 4,2 environ, d'un noir de fer ou brunâtre, à poussière d'un noir brunâtre.

Wad, matières brunes ou d'un brun noirâtre, peu brillantes, terreuses, souvent tachantes, qui paraissent consister en oxydes de manganèse combinés à des quantités variables de baryte, de chaux, de potasse et d'eau. Dans tous les oxydes précédents, on retrouve les caractères du manganèse au chalumeau.

Franklinite $[(Zn, Fe, Mn\,O)(Fe^2,Mn^2)O^3]$. — Cristallise en beaux octaèdres réguliers, appartient au groupe de la magnétite. Dureté : 6 à 6,5. Densité : 3 à 3,1. Couleur noir de fer ; poussière brune. Infusible au chalumeau.

Diallogite ($MnOCO^2$)(61,75 o/o de MnO). — Rhomboédrique. Isomorphe du calcaire. $pp = 107°$. Formes p, a^1, d^1, b^1. Cristaux souvent courbes. Clivages p. Axe optique négatif. Couleur rose plus ou moins pâle suivant qu'ils renferment peu ou beaucoup de chaux ; souvent ils brunissent à l'air. Densité : 3,6 en moyenne. Soluble avec une effervescence sensible à froid.

Rhodonite ($MnOSiO^2$). — Voy. à la suite des pyroxènes.

Wolfram ($mFeOWO^3 + nMnOWO^3$ ou $(Mn,Fe)WO^4$). — Cli-

norhombique. $mm = 100°37'$; $ph^1 = 90°32'$; $pe^1 = 139°3'$, d'après M. Des Cloizeaux. Cristaux parfois très grands, ou bien très petits. Faces nombreuses m, g^1, h^1, h^3 dans la zone verticale.

Clivage très facile g^1 ; plus difficile h^1. Stries sur g^1 ordinairement parallèles aux arêtes h^1g^1 et a^2g^1. Macle suivant h^1. Couleurs : noir brunâtre, un peu adamantin sur g^1 ; éclat métallique ; rouge en lames minces ; poussière rouge ou d'un rouge brunâtre. Densité : 7,25 environ. Dureté : 5,5.

Ellipsoïde isotherme : je n'ai pu opérer que sur des plaques à structure peut-être un peu irrégulière. J'ai obtenu $a : b : c = 0,858 : 0.744 : 1$, en appelant a l'axe parallèle à la diagonale inclinée de la base, b l'axe parallèle à la diagonale horizontale, c l'axe parallèle à l'axe vertical du prisme. En réalité, l'axe c fait probablement 3° avec l'axe du prisme ou arête h^1g^1.

Difficilement fusible au chalumeau en polyèdre magnétique. Donne avec le sel de phosphore, au feu de réduction, une perle rouge, verte après addition d'étain. L'acide chlorhydrique en sépare de l'acide tungstique jaune.

Hubnérite ($MnOWO^3$). — $mm = 101°5$; $ph^1 = 91°$.

Isomorphe du wolfram. Mêmes clivages. Macles suivant h^1 avec axe de rotation normal au plan de jonction. Plan des axes optiques normal à h^1, faisant 17° ou 18° avec l'arête h^1g^1. Bissectrice aiguë positive parallèle à g^1, d'après M. Des Cloizeaux. Rouge rubis par transparence. Brune ou jaune par réflexion. Densité : 7,14. Dureté : 5,5.

On pourrait encore signaler parmi les combinaisons naturelles du manganèse :

Triplite $[3(Fe, Mn)O,P^2O^5 + \frac{1}{3} (Fe,Mn) (Fl^2,Cl^2)]$. — Clinorhombique. En agrégats grenus ou en masses laminaires, clivables suivant deux directions presque rectangulaires, d'un brun marron tendant au rouge ou au jaune, biréfrigents en lames minces. Dureté : 5 ; densité : environ 3,7.

Les oxydes de manganèse sont en général associés aux minerais

de fer, dans un assez grand nombre de filons du Hartz, de la Thuringe, dans les gisements d'Akhtensk et Bakalsk (Oural), à des minerais de cuivre, à Miednoroudiansk (Oural). La pyrolusite et la psilomélane forment des filons avec barytine et calcaire dans le porphyre quartzifère et le micaschiste d'Elgersbourg et d'Œhrenstock, près Ilmenau, dans le conglomérat porphyrique de Friedrichsroda (Forêt Noire). La pyrolusite est accompagnée de hausmannite avec barytine et calcaire dans le porphyre d'Ilfeld (Hartz). La psilomélane et la pyrolusite forment des couches dans le calcaire dolomitique dévonien de Klein-Linien, où ils imprègnent ce calcaire; ils sont réunis à la diallogite, au quartz, dans les grès schisteux et le calcaire de Luchon et de la vallée de Campan. La pyrolusite se rencontre en paillettes, en blocs dans une argile rouge superposée au silurien des environs de Nijné-Taguilsk (Oural); elle imprègne les calcaires jurassiques d'Exideuil (Dordogne), les grès d'Orsay, aux environs de Paris; forment des enduits, des dendrites à la surface des lits de marne, de calcaire, de gypse, etc., dans les terrains tertiaires, des petites masses à cassure grenue ou écailleuse, tachant les doigts, dans les grès miocènes de la vallée de Kwiril (gouvernement de Kutaïs, Caucase). La psilomélane avec pyrolusite, quartz, fluorine, barytine, constitue des amas au contact du granite et de l'arkose, à Romanèche, près Mâcon, etc.

CHAPITRE V

MINERAIS DE CHROME

Chromocre (*sesquioxyde de chrome*) (Cr^2O^3). — Matière terreuse, d'un vert émeraude, parfois disséminée dans des grès, très rare. On le connaît en beaux cristaux artificiels; il est isomorphe du fer oligiste.

Chromite (*sidérochrome*) [(Fe,Cr)O (Fe^2,Cr^2)O^3]. — Isomorphe de la magnétite, elle cristallise en octaèdres réguliers a^1.

Densité : 4,4 à 4,6. Dureté : 5,5. Couleur noir de fer; poussière brune. Infusible au chalumeau, à peine attaquable par les acides. Il se trouve en gros rognons, généralement dans la serpentine; en sable, à l'île des Vaches, près Saint-Domingue.

Crocoïse (PbOCrO^3). — Contient 30,96 o/o d'acide chromique. Cristallise en prismes clinorhombiques.

$mm = 98°41'$; $d^{1/2}\ d^{1/2} = 119°10'$ en avant; $ma^{1/4}$ antérieur $= 45°15'$. La facette $a^{1/4}$, qui tronque les angles du prisme, fait avec m adjacent un angle de 134°15', et rend très aiguës les extrémités des cristaux.

Plan des axes optiques g^1. Bissectrice aiguë positive, inclinée de 5° sur l'arête verticale.

Densité : 5,9 à 6. Densité : 2,6 à 3. Éclat tendant à l'adamantin. Couleur rouge hyacinthe. Poussière orangée.

Cristaux ou croûtes dans des granites et des gneiss souvent altérés.

Caractères du chrome et du plomb au chalumeau. L'acide chlorhydrique dégage du chlore, quand on le chauffe avec de la crocoïse.

CHAPITRE VI

MINERAIS DE NICKEL

Nickéline (NiAs) (43,9 o/o de nickel). — Souvent un peu de cobalt.

Doubles pyramides hexagonales basées $pb^1 = 136°35'$; $pm = 90°$.

Les cristaux rares sont implantés en druses d'où on ne voit sortir que leurs sommets.

Généralement en masses compactes, parfois dendritiques.

Éclat métallique. Couleur rouge de cuivre clair tendant au gris noirâtre; poussière d'un noir brunâtre pâle. Densité : 7,4 à 7,7. Dureté : 5,5.

Fusible au chalumeau et soluble dans l'acide azotique. Accompagne les minerais de cobalt, d'argent et de cuivre. La nickéline d'Allemont (Isère) renferme 8 o/o d'antimoine.

Breithauptite (NiSb) (32,88 o/o de nickel). — Isomorphe de la nickéline. $pb^1 = 136°32'$.

Rouge de cuivre violacé rougeâtre; éclat métallique. Dureté : 5. Densité : 7,5 à 7,6.

A Ar (Pyrénées), *arite*, mélange isomorphe de nickéline et de breithauptite.

Millérite (*haarkies*) (NiS) (64,45 o/o de nickel). — Cristallise en rhomboèdres de 144°8', modifiés par les prismes hexagonaux d^1, e^2; $pa^1 = 159°10'$.

Ordinairement bacillaire, aciculaire ou en groupes radiés; quelquefois en plaques fibreuses. Densité : 5,26 à 5,3. Dureté : 3,5.

Jaune de laiton, jaune de bronze, parfois irisé. Soluble dans l'acide azotique.

Eisennickelkies (2FeS + NiS). — Système cubique; ordinairement en agrégats. Densité : 4,6. Couleur d'un brun timbale clair; poussière jaune.

Chloanthite ($NiAs^2$) (28,12 o/o de nickel). — En cubes, en octaèdres réguliers, modifiés quelquefois par le dodécaèdre rhomboïdal et plus rarement par $1/2\ b^2$ (parahémiédrie); en masses grenues, bacillaires, compactes. Densité : 6,4 à 6,8. Dureté : 5,5.

Éclat métallique. Couleur blanc d'étain, tendant au noirâtre, un peu rougeâtre dans la cassure fraîche.

Dans le tube fermé, donne un sublimé d'arsenic; facilement fusible, soluble dans l'acide azotique; contient souvent quelques centièmes de cobalt.

Ullmannite ($NiSb_2 + NiS^2$) (27,88 o/o de nickel). — En octaèdres a^1 combinés au cube p, à b^1, à $1/2\ b^2$. Zepharovich y a signalé la combinaison de la parahémiédrie $1/2\ b^2$ et de l'antihémiédrie $1/2\ a^1$.

Clivages cubiques. Densité : 6,2 à 6,5. Dureté : 5 à 5,5. Gris de plomb ou d'acier, noir gris bleuâtre avec irisations. Fusible, décomposable par l'acide azotique. Sur le charbon, caractères de l'arsenic et de l'antimoine, fumées épaisses.

Disomose (*gersdorffite*) ($NiAs^2 + NiS^2$) (35,41 o/o de nickel). — Souvent un peu de fer et de cobalt remplaçant le nickel. Système cubique p, a^1, b^1 ; ordinairement en agrégats grenus. Clivages cubiques p, nets. Blanc d'argent, tendant au gris d'acier, parfois noirâtre; poussière noire. Fusible au chalumeau, soluble dans l'acide azotique.

Corynite [(Ni,Fe) (As,Sb,S)^2]. — Octaèdres réguliers a^1. Texture fibreuse ; mêmes caractères physiques que l'espèce précédente.

Wolfachite. — Forme orthorhombique de la combinaison précédente.

Bunsénite (NiO). — En petits cristaux transparents, d'un vert pistache, infusibles, presque insolubles dans les acides ; rare.

Annabergite ($3\,NiOAs^2O^5 + 8H^2O$) (37,47 o/o d'oxyde métallique). — En général contient de l'arséniate de nickel ou de fer. En efflorescences d'un vert d'asperge, sur les pyrites nickélifères.

Cabrérite. — Matière analogue contenant 28,72 d'oxyde de nickel, 4,64 de magnésie, en veinules et en petits noyaux à structure radiée dans un calcaire magnésien mêlé d'argile et de quartz au Laurium.

Clinorhombique. On a mesuré angle de 125° qui s'appliquerait aux faces p et h^1 d'un prisme isomorphe de celui de l'érythrine, d'après les recherches de MM. Damour et Descloizeaux. Dispersion croisée. Densité : 3,11. Couleur d'un beau vert pomme.

Garniérite. — Hydrosilicate de magnésie nickélifère, contenant jusqu'à 45 o/o d'oxyde de nickel, formant au milieu de roches serpentineuses, ou mieux d'un basalte péridotifère, des masses considérables d'un vert pâle ou d'un vert d'herbe suivant la teneur en oxyde de nickel, aux environs de Kanalah (Nouvelle-Calédonie). M. Liversidge, que M. Jules Garnier avait prié d'analyser ce minerai, lui a donné le nom de *nouméite*, bien qu'il provienne de Ka-

nalah : on a cru juste depuis de rappeler par le nom de *garniérite* celui du voyageur qui en a fait connaître le gisement.

Les sels de nickel hydratés sont verts, les anhydres jaunes. Avec l'ammoniaque ils donnent un précipité vert pomme, soluble dans un excès de réactif. Avec l'hydrogène sulfuré, ils ne précipitent en liqueur acide qu'après addition d'un acétate alcalin. Le précipité est noir.

Ils colorent, au chalumeau et au feu oxydant, en brun chocolat la perle de borax ; mais il est bon, s'ils sont à l'état d'arséniures, qu'ils aient été préalablement amenés sur le charbon à l'état de sous-arséniures (Ni^4As).

Les minerais de nickel accompagnent souvent des minerais de fer.

Linnéite (Co^3S^4) (57,88 o/o de cobalt). — La variété de Müsen contient plus de nickel que de cobalt ; celles du Maryland et du Missouri, 30 o/o de nickel. Cubique. Formes a^1. Blanc d'argent rougeâtre, gris d'acier. Densité : 4,8 à 5,5. Dureté : 5,5.

Smaltine ($CoAs^2$) (28,19 o/o de cobalt). — Souvent un peu de nickel et de fer ; parfois du bismuth.

Formes cubiques : p, a^1, rarement b^1 et b^2.

Densité : 6,3 à 7,3. Dureté : 5,5.

Éclat métallique. Couleur d'un blanc d'étain ou d'un gris d'acier clair.

En druses, en séries ramifiées, dendritiques de très petits cristaux dans le calcaire ou le quartz (*cobalt tricoté*). Associée aux minerais d'argent et de cuivre dans le Hartz, la Saxe, en Bohême, Hongrie, Souabe ; en France, à Allemont (Isère) et dans la vallée de Luchon (Pyrénées).

Cobaltine [$Co(S, As^2)$] (35,47 o/o de cobalt). — Formes cubiques avec hémiédrie à faces parallèles. Formes p, ordinairement $p\,1/2b^2$; $1/2b^2a^1$ (icosaèdre) ; $1/2b'b\,1/2b\,1/3$, etc. Clivages cubiques. Cubes souvent striés comme ceux de pyrite dans trois directions rectangulaires sur trois faces adjacentes.

Densité : 6,3. Dureté : 5,5.

Éclat métallique. Blanc d'argent un peu rosé; poussière d'un noir grisâtre. Attaquable par l'acide azotique. Accompagne les pyrites, la magnétite, le quartz, dans des filons ou amas qui traversent le gneiss à Tunaberg et autres localités de Suède, à Siegen (Westphalie), etc.

Glaucodot [(Fe,Co) $(S,As)^2$]. — Orthorhombique; prismes voisins de ceux de mispickel. *mm* = 110°20'; e^1e^1 = 79°58'. Clivages *m*. Groupements suivant *m* et a^1. Blanc d'étain; densité : 5,9 à 6,2.

Dans le tube fermé, perd de l'arsenic métallique.

Safflorite [(Co, Fe, Ni) As^2]. — Isomorphe du mispickel et du glaucodot.

Cobalt terreux noir. — Matière d'un noir bleuâtre, en rognons, en masses pulvérulentes, enduits, qui contiennent 20 o/o d'oxyde de cobalt, dans les mines de cobalt et de manganèse, dans le grès tertiaire des environs de Paris.

Érythrine ($3\ CoOAs^2O^5+8H^2O$) (37,47 o/o d'oxyde de cobalt). — Système clinorhombique. *mm* = 111°16'; ph^1 = 109°10'; o^1h^1 = 124°51'. Formes dominantes : *p*, h^1, g^1. Clivage facile g^1. Densité : 2,9 à 3. Dureté : 2,5. Dispersion croisée. Rouge cerise plus ou moins foncé, tournant au verdâtre par altération; poussière rouge pâle. Éclat perlé sur g^1.

Biebérite ($MnOSO^37H^2O$). — En concrétions efflorescentes ou stalactitiformes d'un rouge rosé pâle, de Bieber (Hanau). Soluble dans l'eau. Clinorhombique. ph_1 = 104°55'. Les sels de cobalt donnent, au chalumeau, une coloration d'un beau bleu d'azur aux perles de borax et de sel de phosphore aux feux d'oxydation et de réduction. Dans le cas de mélange avec du nickel et du fer, cette coloration se manifeste après celle verdâtre donnée par le fer et avant celle du nickel.

Les sels de cobalt donnent avec l'ammoniaque un précipité bleu qui devient vert et se redissout dans un excès de réactif; avec le carbonate de potasse on obtient un précipité rouge.

CHAPITRE VII

MINERAIS DE ZINC

Blende (ZnS) (66,98 o/o de zinc). — Parfois 20 o/o de fer dans les variétés noires; dans plusieurs blendes on trouve du sulfure de cadmium, de l'indium, du thallium (blende de Sainte-Agnès, en Cornouailles), du gallium (blende de Friedensville et Phœnixville, Pennsylvanie), d'après les études spectroscopiques de M. Lecoq de Boisbaudran. Un certain nombre aussi renferment des matières organiques, à en juger par la disparition de leurs teintes, à une température un peu élevée.

Système cubique avec antihémiédrie b^1 (fig. 194), p, $1/2\ a^1$ (fig. 195), $1/2 a^2$, $1/2 a^{1/3}$, quelquefois les faces p portent des stries

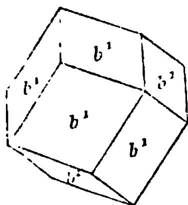


Fig. 194.

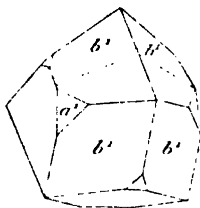


Fig. 195.

parallèles à une seule de leurs diagonales. Clivages parallèles aux six directions planes b^1. Souvent les cristaux sont maclés avec rotation de 180° d'un des individus autour d'une normale au plan de jonction a^1.

Les cristaux sont pyro-électriques.

Variétés lamellaires, à cassure écailleuse, fibreuse, grenue, compacte, terreuse. Densité : 3,9 à 4,2. Dureté : 3,5 à 4. Couleurs très variées : incolore rare (Franklin, New-Jersey); jaune, verte,

d'un jaune verdâtre, roussâtre, brune, noire. Poussière jaune ou brunâtre. Éclat surtout résineux dans la cassure, vitreux et vif sur les faces de clivage. Certaines variétés sont souvent transparentes; assez souvent elles montrent des bandes plus ou moins régulièrement distribuées, de nuances différentes.

La blende montre quelquefois des phénomènes de double réfraction qui ont été étudiés par M. Hautefeuille.

Elle est difficilement fusible au chalumeau, soluble dans l'acide azotique. Elle dégage, quand on la broie avec du bisulfate de potasse cristallisé, de l'acide sulfurique.

Elle est associée d'ordinaire aux minerais de cuivre, de plomb, surtout aux pyrites; accidentellement dans la dolomie du Saint-Gothard.

Wurtzite (ZnS) (seconde forme du sulfure de zinc). — Hexagonale, hémimorphe comme la greenockite. Clivage facile h^1. Axe optique positif. Densité : 4,06. M. Sidot a obtenu chimiquement un sulfure de zinc hexagonal doué d'une phosphorescence remarquable, en la faisant cristalliser par la simple caléfaction en vase clos.

Greenockite (CdS) (77,74 o/o de cadmium). — Cristallise en prismes hexagonaux hémimorphes. $b^1b^1 = 86°21'$ à la base. Plusieurs pyramides $b^2, b^1, b^{1/2}, b^{1/4}$, étagées les unes au-dessus des autres, basées d'un seul côté. D'un jaune vif, parfois brunâtre; poussière jaune orangé. Axe optique positif. Densité : 4,9; dureté : 3,5. Extrêmement rare. Reproduite par Sainte-Claire Deville et M. Troost, qui faisaient passer un courant très lent d'acide sulfhydrique sur du sulfure amorphe, chauffé au rouge, et par M. Sidot, en chauffant fortement du sulfure amorphe.

Zincite (zinc, 80,26 o/o). — Rhomboédrique. $pp = 116°22'$; $pa^1 = 142°30'$. Les cristaux des usines métallurgiques ont donné e^3 ($e^3a^1 = 108°3'$). Ceux obtenus artificiellement sont des isocéloèdres combinés au prisme hexagonal a^1d^1. Clivages a^1. Axe optique positif. Axes horizontaux de l'ellipsoïde isotherme plus grands que l'axe vertical. La zincite se présente dans la nature en masses

laminaires d'un rouge foncé, à poussière orangée, contenant 5,5 o/o de protoxyde de manganèse. Elle noircit au chalumeau, puis redevient rouge. Sur le charbon, elle donne l'enduit jaune à chaud, blanc à froid, qu'on peut colorer en vert par l'azotate de cobalt et qui caractérise le zinc. Soluble dans les acides.

Smithsonite (*zinkspath*) ($ZnCO^3$ ou $ZnOCO^2$) (64,8 o/o de zinc). — Rhomboèdres de 107°40', clivables suivant leurs faces, ordinairement petits, souvent arrondis, généralement en masses stalactitiques, noduleuses, écailleuses, grenues ou compactes, remplaçant quelquefois des cristaux de fluorine, de calcaire, de gypse. Axe optique négatif. L'ellipsoïde isotherme qui est de révolution a ses axes horizontaux plus grands que le vertical.

Densité : 4,1 à 4,5. Dureté : 5. Éclat vitreux ou perlé. Quelquefois elle contient, à l'état de mélange isomorphe, des carbonates de fer, de chaux, de manganèse, ou des mélanges mécaniques de silice, d'oxydes de fer.

Zinconise [$ZnOCO^2 + 2ZnOH^2O$ ou $Zn^3(OH)^4$]. — Blanche, en masses terreuses ou concrétionnées, compactes, parfois oolithiques. Densité : 3,25.

La zinconise de Raibl (Carinthie) a une composition très voisine du carbonate hydraté qui se forme sur le zinc humide exposé à l'air.

Calamine [$H^2Zn^2O^5Si$ ou $(ZnO)^2SiO^2H^2O$]. — Système orthorhombique. $mm = 104°13'$; $pa^1 = 148°31'$; $pa^{1/3} = 118°34'$; $pe^1 = 154°31'$; $g^1e_3 = 129°7'$. Souvent les cristaux sont modifiés dissymétriquement à leurs deux extrémités. $e_3 = b^1b^{1/3}g^1$ (fig. 196). Clivage facile et parfait p, moins facile a^1.

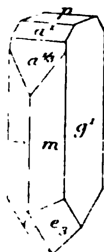


Fig. 196.

Plan des axes h^1. Bissectrice positive normale à p. Indice de réfraction : 1,617 pour la raie D. Angle des axes optiques : 78° $\rho > v$.

Les cristaux sont pyro-électriques; ils acquièrent un pôle négatif pendant le refroidissement à l'extrémité $pa^{1/3}a^1$.

Ordinairement incolores, ils ont l'éclat vitreux, nacré sur g^1;

ils sont solubles en gelée dans les acides; l'ammoniaque y donne un précipité redissoluble dans un excès de base. Au chalumeau, la calamine se gonfle, fond difficilement, jette un vif éclat et donne les caractères du zinc.

Willémite (*troostite*) (Zn^2SiO^4 ou $2ZnOSiO^2$). — Rhomboédrique. $pp = 116°1'$.

Dans la variété de Franklin, formes p, b^1, d^1, d^2. Clivages e^2. Axe optique positif. L'ellipsoïde isotherme a son grand axe vertical. Jaunâtre, brune; poussière incolore. Éclat résineux. Densité : 3,9 à 4,18; dureté : 5,5. Difficilement fusible au chalumeau ; soluble en gelée dans les acides et dans la potasse caustique.

Adamine ($4ZnOAs^2O^5H^2O$ ou $3ZnOAs^2O^5 + ZnOH^2O$). — Quelquefois 4 à 5 o/o d'oxyde de cobalt et, dans certaines variétés vertes, 32 o/o d'oxyde de cuivre. Orthorhombique. $mm = 88°20'$; 88°30 sur g^1; $a^1a^1 = 107°40'$ sur p. Souvent des faces g^1, g^2, h^1. Plan des axes parallèles à p; bissectrice aiguë positive. Éclat adamantin.

Gisements du zinc. — De Namur à Aix-la-Chapelle, le contact des calcaires carbonifères superposés aux couches dévoniennes et de l'étage houiller est jalonné de gîtes de minerais de zinc, à Cerphalie, Moresnet, etc. Les couches paléozoïques forment des selles en série sur lesquelles repose le crétacé horizontal. Le minerai formé de calamine et d'oxydes de fer remplit des filons dans le calcaire carbonifère, constitue des amas de contact entre le calcaire carbonifère et les schistes supérieurs, se rencontre disséminé en nids dans les roches carbonifères et dévoniennes ou les imprègne. A Moresnet, la mine dite de la Vieille Montagne remplit une vaste excavation ellipsoïdale, au contact des schistes houillers et du calcaire carbonifère ; c'est un ensemble de masses de calamine (carbonate et silicate associés) jaune et concrétionné, noyé dans des argiles. A Walkenroth, il y a deux zones de calamine et une de pyrite, galène et blende; les sulfures compacts, jaunes ou bruns, ont la forme de concrétions en zones rubanées; les minerais sont encaissés dans des ampélites et des calcaires carbonifères.

Sur la rive gauche du Rhin, des gîtes de calamine et d'oxyde de fer continuent ceux de la vallée de la Meuse.

Dans le Derbyshire et le Northumberland, la galène avec fluorine, barytine, traverse le calcaire carbonifère en filons, ou s'y étale en dépôts parallèles à la stratification. En Espagne, dans la province de Santander, au pied de la chaîne cantabrique, se montrent des cavités remplies de calamine et d'oxyde de fer concrétionnés, des filons de carbonates et de sulfure de fer et de zinc. Au voisinage de la mer, ces filons se répandent dans le crétacé; ils contiennent de la calamine ou de la zinconise en boules ou en pisolithes et de l'aragonite radiée. A New-York, la franklinite et la zincite accompagnent la magnétite.

En Pologne russe, aux environs du district de Bendzin, aux confins de la Haute-Silésie et de l'Autriche, des carbonates, silicates de zinc, avec hématite brune, dolomie ferrifère et zincifère, occupent les dépressions des couches de dolomie du muschelkalk.

Au Laurium (Grèce), on voit plusieurs couches successives horizontales alternes de schistes et calcaires, les schistes formant le toit et les calcaires le mur de couches de minerais de fer contenant du plomb argentifère exploité au temps de Périclès. Près du mur calcaire, la couche s'appauvrit et passe à du fer spathique qui recouvre de la smithsonite blanche, ou bien celle-ci remplit des fentes du calcaire.

CHAPITRE VIII

MINERAIS D'URANE

Pechurane (*uraninite*) ($3UO^2$, $2UO^3$). — Contenant du plomb, etc. Cubique. Ordinairement amorphe, lamellaire. Dureté : 5,5; densité : 6,4 à 8. Éclat submétallique, grisâtre, couleur de poix ou d'un vert olive; opaque. Infusible; avec le sel de phosphore, perle verte au feu réducteur. Soluble dans l'acide nitrique.

Uranothallite. — Carbonate de chaux et d'urane hydraté, très rare, vert pomme en concrétions.

Voglite. — Carbonate hydraté d'urane, de chaux et de cuivre; en agrégats cristallins, d'un vert émeraude.

On peut mentionner aussi :

Trögérite. — Arséniate hydraté d'urane, d'un jaune citron en cristaux monocliniques; densité : 3,3.

Uranospinite. — Arséniate hydraté d'urane et de chaux, d'un vert serin; optiquement biaxe, à densité 3,45.

Zeunérite ($CuO^2UO^3As^2O^5$, 8 aq). — Quadratique, d'un vert émeraude; densité : 3,2.

Chalcolite ($CuO^2O^3P^2O_5$ + 8aq). — Quadratique, optiquement négative, d'un vert émeraude, à clivage basique parfait. L'ellipsoïde isotherme a ses grands axes horizontaux. Densité : 3,53.

Autunite ($CaO^2UO^3P^2O^5$ + 8 aq). — En tables carrées d'un jaune citron. Optiquement biaxe. Plan des axes g^1; bissectrice aiguë normale à la base et négative. Clivage basique. L'ellipsoïde isotherme a son petit axe normal à la base.

Uranocircite (BaO^2UO^3 P^2O^5 8 aq). — Isomorphe de l'autunite; d'un vert jaunâtre.

CHAPITRE IX

MINERAIS D'ÉTAIN

Stannine [SnS + 2CuS + (Zn, Fe) S]. — Cubique tétraédrique; éclat métallique; d'un gris d'acier, tirant sur le jaune de bronze. Densité : 4; dureté : 4,3 à 4,5. Fusible au chalumeau; donne avec l'acide azotique un précipité blanc; le précipité se dissout dans l'acide chlorhydrique, et la liqueur précipite en pourpre par le chlorure d'or.

Cassitérite (SnO^2). — Quadratique. $a^1a^1 = 87°7'$ sur h^1 ; $b^{1/2}b^{1/2} = 122°10'$ sur p. Cristaux groupés ordinairement par deux ; plan de macle a^1 (fig. 197). Axe de rotation perpendiculaire à ce plan. La configuration de ce groupe ressemble à celle d'un bec ; on l'appelle *bec d'étain*.

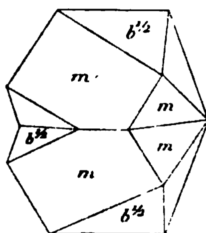


Fig. 197.

Clivages m imparfaits. Axe optique positif. Ellipsoïde isotherme allongé suivant l'axe optique. Densité : 6,84 ; dureté : 6,5.

Rarement transparente ou incolore, elle est parfois d'un noir de poix, ou souvent d'un brun rougeâtre, ou rouge hyacinthe, ou gris jaunâtre ; ses faces ont un éclat vif, adamantin. Une variété concrétionnée fibreuse, en masses globuleuses, d'un rouge d'acajou, a été appelée *étain de bois*.

Les filons stannifères de Cornouailles, de la Bretagne et du Plateau Central, paraissent avoir été remplis par les veines métallifères de la phase calédonienne, antérieure au vieux grès rouge dévonien. Ils ont rejeté les filons de chalkopyrite. Le minerai s'y trouve en amas enchevêtrés dans le greisen, association de quartz et de mica. On a remarqué, il y a longtemps déjà, le rôle du chlore et du fluor dans les gangues de l'étain, qui sont surtout des silicates fluorés, mica, tourmaline, topaze, ou bien l'apatite, l'amblygonite, outre la fluorine.

C'est ce qui a amené Daubrée à reproduire ce minerai en faisant agir la vapeur d'eau sur le chlorure ou le fluorure d'étain ; Sainte-Claire Deville faisait agir un courant d'acide chlorhydrique sur du bioxyde d'étain.

CHAPITRE X

MINERAIS DE VANADIUM

Vanadine. — Poudre jaunâtre rare. Acide vanadique naturel.

Descloizite ($4PbOV^2O^5 + H^2O$). — Orthorhombique.

$mm = 115° 30'$; $pe^1 = 140° 38'$. Octaèdres rhombiques ou recangulaires.

Plan des axes optiques g^1. Bissectrice aiguë négative normale à p. $\rho > v$.

Éclat résineux. Rouge de diverses nuances, tendant au noir ou au jaune bronzé. Poussière jaune orangé plus ou moins brunâtre. Densité : 5,839 à 6,107. Dureté : 3,5.

Au chalumeau, elle est réductible. Avec le borax, verre vert au feu de réduction. Le nitre fait passer la perle au violet au feu d'oxydation. Avec l'acide azotique, on a une poudre rouge d'acide vanadinique.

Vanadinite ($3PbO V^2O^5 + \frac{1}{3} PbCl^2$) ou $V^3Pb^5ClO^{12}$. — Hexagonale.

$pa^1 = 144°31'$. Axe optique négatif. Densité : 6,63 à 6,89. Dureté : 3.

Éclat gras. Couleur jaunâtre, jaune rouge ou brune. Fusible au chalumeau, réductible sur le charbon. Caractères du vanadium.

CHAPITRE XI

MINERAIS DE MOLYBDÈNE

Molybdine (MoO^3). — Lames rectangulaires; très rare. Jaune orangé, vert serin. Densité : 4,5. Dureté : 1 à 2.

Wulfénite (PbO,MoO^3) ou $MoPbO^4$. — Quadratique. $pa^1 = 122°23'$; $pb^{1/2} = 114°9'$.

Isomorphe avec $PbOWO^3$.

Clivages assez net $b^{1/2}$; moins distinct p et $b^{3/2}$; axe optique positif.

Éclat vitreux; jaune, grisâtre; orangé rouge; verdâtre. Fusible et réductible sur le charbon. Donne réactions du molybdène. Soluble dans l'acide azotique avec précipitation d'acide molybdique jaune, qui, traité par le zinc et l'acide sulfurique étendu, devient bleu.

Molybdénite (MoS^2). —En lamelles hexagonales, ou en petites masses, à éclat métallique, dont les formes et le faciès rappellent exactement ceux du graphite. Densité : 4,71; dureté : 1 à 1,5. Clivage très facile, parallèle à la base de la forme qu'on regarde comme hexagonale, mais qu'on n'a pu déterminer. Poussière un peu verdâtre sur le papier. Au chalumeau, caractères du molybdène. Donne un précipité blanc dans l'acide azotique.

CHAPITRE XII

MINERAIS DE BISMUTH

Cristaux mous; dureté : 1,5 à 2; densité : 7,5.

D'un gris d'acier assez mat, mais éclatant sur les faces de clivage. Tachant le papier. Ils colorent en rouge l'acide sulfurique comme le tellure. Comme les tellurures, chauffés avec du carbonate de soude sur le charbon, ils donnent du tellurure de sodium qui colore en rouge l'eau purgée d'air, sur laquelle se dépose peu à peu un enduit gris de tellure.

Joséite (Bi^3Te) (bismuth, 79,25 o/o). — Lames larges, superposées, flexibles, brillantes, d'un gris de fer noirâtre. Densité : 7,92.

Wehrlite (*argent molybdique*, de Werner) [Bi (Te,S)] (bismuth, 61,15 o/o). — Un tellurure de la mine d'or de Dahlonga, en Géorgie, ne contient que 52 o/o; un autre du Cumberland, 84,33 o/o de bismuth.

Chiviatite ($2PbS + 3\,Bi^2S^3$). — En paillettes cristallines, clivables suivant trois directions planes, en zone, qui font des angles de 133° et 153°; d'un gris de plomb; à éclat métallique; densité : 6,92 (61,32 o/o, de bismuth).

Eulytine ($2Bi^2O^3$, $3SiO^2$) ou $(Bi^2)^2\,(SiO^4)^3$ (83,73 o/o d'oxyde de bismuth). — Cubique avec antihémiédrie; demi-octotrièdres, ordinairement $1/2\ a^{1/2}$, combiné à p, $1/2\ a^1$, qui agissent en lumière polarisée comme des rhomboèdres de 120°. Optiquement négatifs, groupés autour d'un centre.

Cristaux très petits ; d'un brun de girofle, jaunâtre, blanc grisâtre; éclat adamantin. Densité : 6; dureté : 4,5. Au chalumeau, fond en globule brun; décomposée par l'acide azotique, en donnant de la silice gélatineuse.

CHAPITRE XIII

MINERAIS DE PLOMB

Plomb natif. — Système cubique ; rencontré en enduits filiformes, en paillettes, en agrégats compacts. Densité : 11,37 ; dureté : 1,5.

Couleurs : gris de plomb, parfois noirâtre ; peu abondant et rare.

Clausthalie (PbSe) (72,4 o/o de plomb). — A tous les caractères géométriques, physiques, extérieurs de la galène. Densité : 7,6 à 8,8. Dureté : 2,5 à 3.

Donne un enduit de sélénium rouge au chalumeau, dans le tube ouvert et dans le tube fermé, quand on la mèle avec du bisulfate de potasse.

Altaïte (PbTe) (61,7 o/o de plomb). — Masses clivables dans trois directions rectangulaires, ordinairement grenues ou compactes. Densité : 8,16. Dureté : 3 à 3,5.

Blanc d'étain, légèrement jaunâtre.

Au chalumeau, donne du plomb sur le charbon et, dans le tube ouvert, un sublimé fusible en globules limpides de TeO^2 ; avec le carbonate de soude, on a du tellurure de sodium qui colore en rouge l'eau distillée, privée d'air. Attaquable par l'acide azotique.

Galène (PbS) (86,6 o/o de plomb). — Contient quelquefois un peu de fer, de zinc, souvent de 1 à 3 dix-millièmes, quelquefois 5 dix-millièmes, rarement plus d'un centième d'argent ; elle est mélangée quelquefois aussi de sulfure d'antimoine, de séléniure de plomb, plus rarement de sulfure de bismuth, et, dans une variété de Dufton, on rencontre du soufre en excès.

Formes cubiques p, a^1, b^1, combinées à des octotrièdres.

Clivages p nets et faciles, autant les uns que les autres dans les variétés régulièrement cristallisées. Dans beaucoup de variétés de galène, au contraire, les plans de clivage sont ondulés, striés, par suite du défaut d'un parallélisme rigoureusement exact des lamelles superposées. On y observe des groupements de lois mal définies.

Pseudomorphoses. — La galène reçoit quelquefois des formes qui ne lui appartiennent pas, celle du calcaire et surtout celle de la pyromorphite par moulage.

Variétés de structure cristalline. — Lamellaire, fibreuse, grenue, saccharoïde, compacte, terreuse (plomb bleu). Les variétés à grandes lames sont souvent striées. Densité : 7,3 à 7,6. Dureté : 2,5. Opaque, d'un gris d'acier ou de plomb, à reflets bleuâtres ; sa poussière est d'un gris noirâtre ; elle a l'éclat métallique. Elle est fusible et réductible sur le charbon au chalumeau. Elle se dissout dans l'acide azotique avec dépôt de soufre et de sulfate de plomb ; elle forme du chlorure de plomb dans l'acide azotique concentré ; broyée avec du bisulfate de potasse cristallisé, elle donne lieu à un dégagement abondant d'acide sulfhydrique.

Sulfoantimoniures de plomb. — On rencontre un assez grand nombre de combinaisons de sulfure de plomb et de sesquisulfures d'arsenic, d'antimoine ou même de bismuth, qui, à partir de 1 molécule de sesquisulfure pour 5 de sulfure de plomb, deviennent ortho ou clinorhombiques. Leurs masses cristallines sont bacillaires ou fibreuses, allongées suivant les arêtes du prisme qui domine dans leurs formes, quand elles en présentent d'un peu nettes.

Parmi ces combinaisons se distingue :

Jamesonite ($Pb^2Sb^2S^5$ ou $2PbS + Sb^2S^3$). — En prismes orthorhombiques. $mm = 101°20'$, clivables suivant leur base p, moins nettement suivant m et g^1. Densité : 5,6 ; dureté : 2 à 2,5. Facilement fusibles au chalumeau, décomposables par l'acide chlorhydrique bouillant, d'un gris de plomb ou d'acier, à éclat métallique. On y rattache des matières aciculaires, capillaires, en fibres flexibles,

entremêlées, comme feutrées, des enduits semblables à de l'amadou, d'un gris d'acier, parfois irisé, à éclat peu vif en général, qu'on a nommées *plumosite, hétéromorphite, federerz,* et qui ont la composition de la jamesonite. Le *zundererz*, amadou minéral, d'Andréasberg, tirant sur le rouge vif, n'est qu'un mélange de sulfures d'antimoine et de plomb avec de l'argent rouge.

Zinckénite ($PbS+Sb^2S^3$ ou $PbSb^2S^4$). — En prismes orthorhombiques d'environ 120° groupés par 6 autour d'un axe parallèle à celui de leur allongement, à clivages prismatiques, à densité 5,32.

Skléroclase ($PbAs^2S^4$). — Isomorphe de l'espèce précédente, à clivage basique, à densité 5,39. Ces matières donnent, dans le tube bouché, des sublimés de sulfure d'arsenic ou d'antimoine.

Les oxydes de plomb : **massicot** (PbO), d'un jaune passant à l'orangé, à éclat gras ; **minium** (Pb^3O^4 ou $2PbO,PbO^2$), d'un rouge aurore, à poussière orangée; la **plattnérite** (PbO^2), hexagonale, d'un noir de fer, à poussière brune, à éclat adamantin, sont très rares.

Parmi les chlorures naturels, nous ne ferons que mentionner :

Cotunnite ($PbCl^2$) (74,47 o/o de plomb). — En cristaux petits, aciculaires, orthorhombiques. $mm = 118°38'$; $a^1a^1 = 126°44'$.

Matlockite ($PbO+PbCl^2$) (55,48 o/o de chlorure de plomb). — En prismes quadratiques, à clivages peu nets p. $pa^1 = 119°34'$; base p souvent striée. Axe optique négatif. L'ellipsoïde isotherme de révolution a ses axes basiques plus grands que le vertical. Matière d'un blanc jaunâtre, parfois verdâtre, à éclat adamantin. Densité : 7,21. Dureté : 2,5.

Mendipite ($2PbO+PbCl^2$). — Orthorhombique, en masses fibreuses et d'un blanc jaunâtre ou rougeâtre, à éclat adamantin sur les faces de clivage, parallèles aux faces du prisme de 120°36', facilement fusibles.

Céruse ($PbCO^3$ ou $PbOCO^2$) (environ 80 o/o de plomb). — Orthorhombique, isomorphe de l'aragonite. $mm = 117°14'$; $e^1g^1 = 125°22$.

Faces fréquentes : p, e^2, $c^{1/4}$, g^1, h^1, g^2, m, puis $e^{1/2}$, e^1, $b^{1/2}$, etc.

L'allongement est en général parallèle à l'axe antéro-postérieur ou petite diagonale de la base.

Groupements fréquents : 1° sans renversement, avec accolement des faces g^1 des deux individus ou d'une face g^1 de l'un et d'une face m de l'autre;

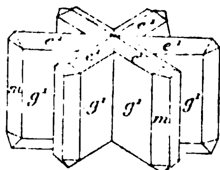


Fig. 198.

2° Groupement de trois individus avec pénétration autour de l'axe vertical (fig. 198).

Clivages parallèles à m; traces suivant g^1.

Plan des axes g^1. Bissectrice aiguë négative normale à p; l'angle des axes optiques apparent est de 16°54′ pour la raie D. Indice de réfraction : $n_g = 2{,}078$, $n_m = 2{,}0763$, $n_p = 1{,}8037$ pour la raie D.

Densité : 6,5. Dureté : 3 à 3,5. Très fragile.

Éclat adamantin, gras. Incolore, blanc, grisâtre, ou coloré en noir, en rouge, en vert, par du sulfure de plomb, des matières charbonneuses et autres.

Cristaux quelquefois isolés ou groupés en faisceaux, en druses. Variétés stalactitiques, réniformes, compactes, terreuses, remplaçant des cristaux de galène, d'anglésite.

Au chalumeau, décrépite et se réduit facilement; soluble dans les acides.

Phosgénite ($PbO,CO^2 + PbCl^2$). — En prismes quadratiques pm, modifiés par h^1, b^1, $b^{1/3}$, $a^{1/2}$ et autres faces. $b^{1/2}$ $b^{1/2}$ à la base $= 113°56'$. Clivages m.

Axe optique positif. Indice moyen : 2,114 pour l'orangé. Densité : 6 à 6,3. Dureté : 2,5. Blanc grisâtre, verdâtre. Éclat adamantin.

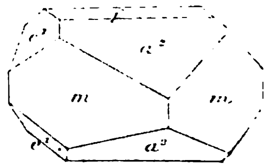


Fig. 199.

Anglésite ($PbSO^4$ ou PbO,SO^3). — Isomorphe de barytine. $mm = 103°43'$; $pe^1 = 127°48'$; $a^2a^2 = 78°47'$ aux arêtes basi- ques (fig. 199). Clivages p, m, assez difficiles.

Plan des axes optiques g^1. Bissectrice aiguë positive, normale à h^1. Angle des axes très ouvert. $\rho < v$.

Indice de réfraction moyen : 1,883.

Ellipsoïde thermique $a : b : c = 1,06 : 1,16 : 1$; a axe normal à h^1, b normal à g^1, c normal à p.

Densité : 6,25 à 6,3. Dureté : 3.

Incolore, grise, jaunâtre, brune. Éclat adamantin.

Fusible au chalumeau, réductible sur le charbon. Difficilement soluble dans l'acide chlorhydrique; soluble dans le citraque d'ammoniaque et la potasse; noircit au contact de l'acide sulfhydrique.

Paraît résulter de l'oxydation de la galène dans les cavités de laquelle sont engagés ses cristaux.

Leadhillite ($3PbO,CO^2 + PbOSO^3$). — Monoclinique, d'après Laspeyres; $ph^1 = 89°47'$; $mm = 120°20'$.

Souvent trois individus accolés par une face du prisme; aplatissement basique fréquent; clivage basique.

Dureté : 2,5. Densité : 6,26 à 6,55.

Blanc grisâtre, verdâtre, jaunâtre, brunâtre. Éclat adamantin.

Plan des axes optiques normal à g^1 ; bissectrice aiguë négative, normale à la base. $\rho < v$. L'angle des axes, qui est de 20° à la empérature de 60°, devient nul à 122°. Angle des axes = 72° dans la leadhillite de Matlock, d'après M. Émile Bertrand.

Susannite. — Très rare; composition de la leadhillite, mais pseudo-hexagonale.

Lanarkite ($2PbOSO^3$). — Clinorhombique. Densité : 6,8 à 7. Blanc verdâtre, jaunâtre, grisâtre; cristaux allongés suivant la diagonale horizontale; clivage p très rare.

Pyromorphite [$P^3Pb^5O^{12}Cl$ ou $3(3PbOP^2O^5) + PbCl^2$]. — Prismes hexagonaux, isomorphes avec l'apatite.

$b^{1/2}\,b^{1/2} = 80°40'$; $pb^{1/2} = 139°40'$. Formes pm, $pm\,b^{1/2}$. Clivages imparfaits $b^{1/2}$; traces m.

Éclat adamantin. Incolore quelquefois, ordinairement vert d'herbe, vert pistache, brun, plus rarement jaune.

Axe optique négatif. L'ellipsoïde isotherme est faiblement déprimé verticalement. Dureté : 3,5 à 4. Densité : 6,9 à 7.

Fond au chalumeau en donnant un globule qui, après refroidissement, devient polyédrique; réductible par le carbonate de soude ; donne un sublimé de chlorure de plomb dans le tube fermé ; soluble dans l'acide azotique.

Mimetèse. — Chloroarséniate de plomb, isomorphe de la pyromorphite géométriquement. Densité : 7,2. Dureté : 3,5 à 4. Vert jaunâtre, grise, orangée. Éclat gras adamantin. Optiquement biaxe. Bissectrice aiguë négative, normale à la base. Souvent, sur un même cristal, on observe des régions contenant de l'arséniate à deux axes et d'autres qui ne contiennent que du phosphate uniaxe, optiquement. On a donné le nom de kampylite à des prismes hexagonaux, tabulaires, fibreux, empilés les uns sur les autres et prenant dans leur ensemble l'aspect de tonneaux, souvent rouges, ou d'un rouge orangé, et qui sont des variétés de mimetèse contenant de l'acide chromique.

Gisements du plomb. — Malgré sa teneur ordinairement faible en argent, la galène est surtout exploitée comme minerai de ce métal. La galène et les minerais de plomb qui l'accompagnent souvent, sulfoantimoniures, sulfoarséniures, céruse, anglésite, etc., sont très souvent liés aux minerais de cuivre et d'argent, par exemple, à Przibram, dans les terrains primaires où les filons contiennent en outre du nickel et du cobalt.

C'est dans les mêmes terrains que se déploient les filons de galène, céruse et blende de Mies et de Bleistadt. La galène est associée aux minerais de cuivre et d'étain, dans l'Erzgebirge, au cuivre et à l'argent dans le Hartz, dont les filons n'ont dû être remplis définitivement qu'après le permien, bien qu'ils n'y percent, en général, que les terrains anciens. Entre le Wisconsin et le Mississipi, s'étend la vaste *région du plomb*, où la galène remplit d'innombrables fentes du calcaire de Trenton.

La galène se mêle aussi aux minerais de cuivre du Turkestan, à ceux de cuivre et d'argent de Kongsberg, en Norvège. On ren-

contre des filons de galène, blende, fluorine, dans le calcaire carbonifère du Derbyshire.

Aux environs de Pontgibaud, en France, elle forme les filons à gangue riche en barytine dans les schistes cristallisés. Ses filons réunis en faisceaux, au contact des granites et des gneiss à Vialas et à Villefort (Lozère), n'ont peut-être fermé définitivement qu'à l'époque tertiaire.

La galène et la céruse imprègnent les grès bigarrés de Commeros, près Aachen (Aix-la Chapelle), dans l'Eifel; elles forment des amas avec des minerais de zinc dans le muschelkalk de Wiesloch (pays de Bade); elles imprègnent les grès du Keuper, à Freyberg.

Dans le Morvan, les sédiments du trias et du lias sont pénétrés de carbonate de cuivre, de quartz, de barytine et de céruse. Sur les bords de la Romanche, aux environs de la Grave, des filons de galène se dressent au milieu du lias inférieur et des roches anciennes, sans pénétrer dans le lias supérieur. On retrouve des épanchements plombifères de cette époque dans la Prusse rhénane. La galène et la blende, associées à des minerais de cuivre, se sont répandues en dykes au milieu des marbres secondaires, jurassiques ou crétacés, au Compiglièze, en Toscane. A Monte-Poni, la galène et la céruse comblent de grandes fentes en forme de colonnes obliques au travers de calcaires verticaux. La galène accompagne la smithsonite dans les calcaires et argiles crétacés de Santander, en Espagne.

Les dernières dislocations tertiaires des Alpes et des Pyrénées ont contribué aux derniers remplissages de beaucoup de filons.

CHAPITRE XIV

MINERAIS DE CUIVRE

Cuivre natif (Cu). — Cubique. Formes : a^1, p, b^1, b^2, a^3, isolées ou combinées. Macles avec hémitropie suivant a^1.

Dureté : 2,5 à 3. Densité : 8,7 à 8,9. Très malléable, très tenace. Opaque, rouge, à éclat métallique. Vert par transparence en lames très minces.

Fusible au chalumeau. Donne les réactions du cuivre. Souvent presque pur.

Berzéline (Cu^2Se) (61,6 Cu). — Dans le matras, donne Se, SeO^2 et Cu ; sur le charbon fond en globule gris en dégageant une odeur forte. Très rare, en enduits minces, blancs ou noirs, dans les fentes d'un calcaire cristallisé, à Skrikerum, en Smöland (Suède), et à Lehrbach, au Hartz.

Crookésite. — D'après Nordenskjöld, on trouve, à Skrikerum, une substance compacte de densité 6,9, fusible au chalumeau, colorant la flamme en vert intense et contenant Cu (45,76), Ag (3,71), thallium (17,25), sélénium (33,27).

Covelline (CuS). — Dureté : 1,5 à 2 ; densité : 4,6 ; isomorphe du cinabre. $pa^2 = 131°5$. Rhomboèdres se clivant suivant leurs faces ; couleur d'un bleu indigo.

Nous ne ferons que mentionner :

Domeykite (Cu^3As). — Densité : 7 à 7,5. Dureté : 3,5. Compacte ; d'un blanc d'étain.

Algodonite (Cu^6As). — Densité : 6,9 ; compacte ; gris d'acier, blanc d'argent.

Whitneyite (Cu^9As). — Densité : 8,5. Compacte ; blanc grisâtre ; à éclat métallique.

Horsfordite (Cu^6Sb). — Densité : 8,8. Compacte ; d'un blanc d'argent.

Toutes ces substances se réduisent sur le charbon à l'état de globules de cuivre et donnent les caractères de l'arsenic ou de l'antimoine.

Chalkosine (Cu^2S) (79,8 o/o de cuivre). — Orthorhombique. $mg^1 = 120°12'$; $mm = 119°35'$; $pb^{3/2} = 147°10'$; $pe^{3/2} = 147°6'$. Les faces m et g^1 forment un prisme hexagonal dont les angles mm et mg^1 diffèrent d'environ 1/2 degré; $pb^{3/2}$ et $pe^{3/2}$ ne diffèrent que de quelques minutes; aussi ces faces se produisent-elles ensemble, et les cristaux ont-ils le faciès de pyramides hexagonales, combinées ordinairement à un prisme hexagonal d'apparence régulière.

Les cristaux sont souvent aplatis parallèlement à leur base p. Souvent ils se groupent, soit 2 par 2 en s'entre-croisant, soit 3 par 3 autour d'un axe, leurs plans de jonction étant les faces m accolées des individus immédiatement voisins.

La chalkosine peut remplacer par épigénie des cristaux de chalkopyrite, par moulage de la galène; quelquefois elle a remplacé des graminées, et elle a gardé la forme de leurs épis ou imprégné leurs tiges. Souvent une partie du cuivre y est, au contraire, remplacé par du fer.

Clivages m imparfaits; cassure inégale. Densité : 5,5 à 5,8; dureté : 2,5 à 3 ; très molle.

D'un gris de fer, bleuâtre ou d'un gris de plomb noirâtre, avec un éclat plus ou moins vif; poussière brillante, noire. Au chalumeau, très fusible; caractères du cuivre; soluble dans l'acide azotique.

Phillipsite (*cuivre panaché, bornite, érubescite, buntkupfererz*) ($3Cu^2S + Fe^2S^3$) (55,5 o/o de cuivre). — Cristallise dans le système cubique. Formes a^1, a^2, à faces courbes et confusément groupées.

Variétés : masses compactes, plaques, masses tuberculeuses, ou remplaçant la chalkosine.

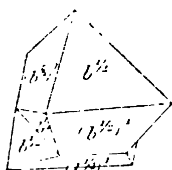
Densité : 4,9 à 5,1 ; dureté : 3; assez molle.

D'un rouge de cuivre mêlé de brun sombre ou de bleu, irisée sou-

vent dans toute la masse; poussière noire; souvent elle est mélangée de chalkosine.

Fusible en globule gris d'acier au chalumeau, y devient magnétique après une longue insufflation; mouillée d'acide chlorhydrique, elle colore en bleu le bord d'une flamme à alcool; elle dépose du soufre dans l'acide chlorhydrique.

Chalkopyrite ($CuFeS^2$ ou $Cu^2S + Fe^2S^3$) (34,52 o/o de cuivre). — Système quadratique avec antihémiédrie. Formes : tétraèdres voisins des tétraèdres réguliers 1/2 $b^{1/2}$ souvent groupés par 2 suivant une de leurs faces avec hémitropie. $b^{1/2}$ $b^{1/2}$ = 108°40′ à la base et 71°20′ sur p (fig. 200). Souvent on voit deux tétraèdres inverses combinés, produisant ensemble un octaèdre quadratique ou la combinaison d'un tétraèdre et d'un hémidioctaèdre donnant ensemble une forme à 12 faces qui rappelle les hémioctotrièdres du système cubique. Ils montrent également des hémioctaèdres $a^{1/2}$ maclés suivant a^1, et quelquefois les arêtes d'un octaèdre placé au centre du groupe disparaissent en haut comme en bas sous d'autres cristaux, qui s'appliquent sur ses faces suivant un plan parallèle à a^1. Densité : 4,1 à 4,3. Dureté : 3,5.


Fig. 200.

Couleurs : jaune de laiton verdâtre, parfois irisé; poussière noire.

Variétés : masses compactes ou à cristallisations confuses, d'un jaune de laiton verdâtre, à éclat métallique, mamelonnées, réniformes, irrégulières, remplaçant quelquefois la chalkosine ou enveloppant le cuivre gris. Au chalumeau, elle décrépite et prend une couleur foncée; elle fond facilement et donne un globule magnétique. Comme la précédente, mouillée d'acide chlorhydrique, elle colore la flamme en bleu. Elle est soluble dans l'acide azotique, et une lame de fer plongée dans la dissolution s'y recouvre de cuivre.

Tétraédrite (*cuivre gris*, *fahlerz*, *panabase*, etc.). — Sulfoantimoniures ou sulfoarséniures de cuivre, d'argent, de mercure, de er ou de zinc (fig. 201 et 202).

On peut distinguer dans ce groupe avec Rammelsberg :

1° Les sulfoantimoniures, mélanges isomorphes de $4Ag^2S + Sb^2S^3$, $4Cu^2S + Sb^2S^3$, $4FeS + Sb^2S^3$, contenant en moyenne

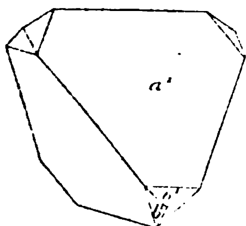


Fig. 201.

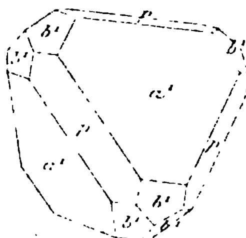


Fig. 202.

40 o/o de cuivre et de 1 à 17 o/o, ou même quelquefois davantage, d'argent, appelés en Allemagne *weissgiltigerz*, foncés, lorsque la teneur en argent devient considérable.

2° Les sulfoantimoniures mêlés de sulfoarséniures, contenant fort peu d'argent, mais souvent du mercure (17,27 o/o dans la tétraédrite de Kotterbach, près Iglö, Hongrie, d'après Rath).

3° Les sulfoarséniures ne contenant ni argent, ni mercure, et rarement du zinc; ce sont les variétés les plus claires, auxquelles se rattachent les *tennantites*. Le cuivre, de 33 à 45 o/o, le fer se rencontrent dans tous les groupes.

Dans quelques tétraédrites, on a signalé un peu de cobalt, un peu de bismuth, très rarement du plomb.

Formes cubiques avec antihémiédrie 1/2 a^1, 1/2 a^2, 1/2 $a^{2/3}$, 1/2 ($b^1 b^{1/2} b^{1/3}$), p, b^1.

Les cristaux offrent aussi des groupements de deux tétraèdres qui s'entre-croisent.

Cassure inégale ou finement grenue; traces de clivage a^1.

Densité : 4,36 à 5,36; densité : 3 à 4.

Gris d'acier, noir de fer; poussière noire, tournant au rouge foncé dans certaines variétés. Dans le matras, les cuivres gris antimonifères donnent un sublimé d'un rouge foncé de sulfure d'antimoine, mêlé d'oxyde; sur le charbon, ils fondent facilement en globules

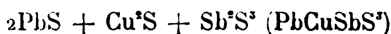
gris. Solubles dans l'acide azotique, ils y laissent déposer de l'oxyde d'antimoine et du soufre. La dissolution chaude de potasse caustique donne du sulfure d'antimoine, que la potasse retient, mais que les acides précipitent en jaune orangé; les cuivres gris arsénifères donnent des réactions analogues, si ce n'est qu'au lieu d'oxyde ou de sulfure d'antimoine on a un sublimé d'acide arsénieux et de sulfure d'arsenic d'un jaune citron dans le matras.

On réserve actuellement le nom de *weissgiltigerz* au sulfoantimoniure de plomb, d'argent, de zinc et de fer, ne contenant que peu ou pas de cuivre, renfermant au contraire du plomb, jusqu'à 38 o/o, tandis que ce métal manque généralementdans les cuivres gris proprement dits.

Nadelerz (*patrinite*). — Sulfure de cuivre, de bismuth et de plomb, de la formule $(1PbS + Cu^2S) + Bi^2S^3$, contenant 36,02 plomb, 11,03 cuivre, 36,21 bismuth et 16,74 soufre, en cristaux aciculaires, capillaires, souvent infléchis ou séparés en tronçons par des cassures transversales, engagés dans le quartz. On n'a pu y mesurer qu'un seul angle de 110° environ, à arête parallèle à l'allongement des cristaux. Clivage suivant une direction plane verticale.

Dureté : 2,5; densité : 6,76. Couleur gris de plomb clair, gris d'acier. Les cristaux sont souvent recouverts d'un enduit verdâtre. Dans le tube ouvert, donne des vapeurs blanches qui se condensent en partie en gouttes limpides. Facilement fusible; donne avec l'acide azotique du sulfate de plomb et du soufre. Localités : Béésowsk (Oural), où ce minerai accompagne de l'or natif.

Bournonite (*schwazspiessglanzerz, spiessglanzbleierz, rädelerz, endellione, bleifahlerz*). — Sulfoantimoniure de cuivre et de plomb, contenant 42,55 plomb, 13,02 cuivre, 24,65 antimoine, 19,78 soufre, dont la formule peut s'écrire :



$$2PbS + Cu^2S + Sb^2S^3 \ (PbCuSbS^3)$$

cristallisé en prismes droits à base rhombe qui se groupent ordinairement suivant les faces prises pour pans *m* du prisme, soit 2

à 2 (fig. 203), soit en verticilles qu'on a comparés à une roue de tée, lorsqu'ils sont formés d'un grand nombre d'individus, mais qui se trouvent réduits parfois à 6 ou à 4 demi-individus.

$$mm = 93°40' ; \quad pa' = 136°17' ; \quad pe' = 138°6'$$

On observe souvent combinées de diverses manières, outre les faces précédentes, les faces $b^{1/2}$, $b^{1/4}$, a^2, g^1, h^1, g^3, h^3, etc.

Les cristaux ordinairement tabulaires, allongés horizontalement suivant l'une ou l'autre des diagonales de leurs bases, se groupent suivant leurs pans.

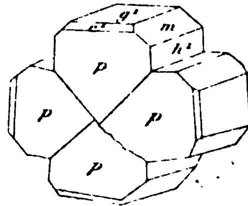


Fig. 203.

Clivages peu distincts suivant faces g^1 et h^1.

Ellipsoïde isotherme.

Dureté : 3; densité : 5,8. Couleurs : gris d'acier à gris de plomb, plus ou moins foncé, souvent très clair; éclat vif; fragile.

Dans le tube fermé, donne un sublimé rouge. Fusible au chalumeau. Soluble dans l'acide azotique avec dépôt de soufre et d'oxyde d'antimoine.

On peut mentionner encore comme sulfures :

Cubane ($Cu^2S + Fe^2S^3$). — Densité : 4 à 4,18 ; dureté : 4; jaune de laiton.

Cuproplombite ($Cu^2S + 2PbS$). — Densité : 6,4; dureté : 2,5; d'un gris de plomb noirâtre tendant au rouge violacé.

Énargite [$4(Fe, Cu)S + Cu^2S + As^2S^3$]. — Orthorhombique avec clivages m; $mm = 97°53'$. Densité : 4,36; dureté : 3; d'un noir de fer; poussière d'un noir grisâtre.

Famatinite ($4CuS + Cu^2S + Sb^2S^3$). — Ayant les caractères de l'énargite; couleur entre le gris de plomb et le rouge de cuivre.

Zigueline (*cuprite*) (Cu^2O) (cuivre, 88,79). — Cubique. Faces fréquentes : p, a^1, b^1, puis $a^{1/2}$, $a^{1/3}$, a^2, b^2, $b^1b^{1/2}b^{1/3}$. Clivages interrompus a^1.

Translucide sur les bords; rouge cochenille dans les cristaux

très minces (*chalkotrichite*), extérieurement noirâtre; poussière rouge brique.

Dureté : 3,5; densité : 5,84 à 6,15.

Elle colore la flamme en vert; mouillée d'acide chlorhydrique, elle la colore en bleu. Réductible sur le charbon; soluble avec effervescence dans l'acide azotique, sans effervescence dans l'acide chlorhydrique. Cristaux agglomérés; masses ténues, compactes ou granulaires; fibres capillaires.

Mélaconise (CuO) (Cu, 79,85). — En aiguilles d'un gris d'acier noir, brun jaunâtre par transparence, à éclat métallique, dans la lave du Vésuve. En masses noirâtres, terreuses ou compactes, remplaçant quelquefois des cristaux cubiques, paraissant résulter de l'altération de sulfures de cuivre. A Boléo (Californie), le minerai est mêlé au cuivre oxydulé, à du sesquioxyde de manganèse, de l'alumine, du sesquioxyde de fer, etc.

Fusible en scorie noire, facilement réductible et soluble dans l'acide azotique.

Atacamite ($CuCl^2 + 3CuOH^2O$ ou $Cu^2(HO)^3Cl$). — Orthorhombique. $mm = 112°20'$; $e^1e^1 = 105°40'$.

Clivage parfait g^1, imparfait h^1; faces ordinairement imparfaites; cristaux petits, chargés de facettes, bacillaires; variétés grenues, arénacées. Colore en bleu la flamme.

Chessylite (*azurite, cuivre carbonaté bleu*) ($2CuOCO^2 + CuOH^2O$). — Clinorhombique. $mm = 99°33'$; $ph^1 = 92°21'$; $pe^{1/2} = 119°39'$; $pd^{1/4} = 111°46'$ (fig. 204).

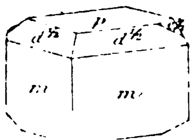


Fig. 204.

Cristaux allongés souvent suivant l'axe de la zone ph^1, aplatis suivant p, groupés irrégulièrement en sorte de boules. Macles régulières rares avec hémitropie autour d'un axe normal à $a^{1/2}$. Clivages assez nets suivant $e^{1/2}$, moins faciles suivant h^1. Plus ou moins transparente. Plan des axes optiques parallèle, et bissectrice aiguë positive normale à la diagonale horizontale, faisant — 15° avec p; $\rho > v$.

Éclat vitreux adamantin. D'un bleu d'azur, d'un bleu d'indigo;

poussière d'un bleu pâle. Dureté : 3,5 à 4; densité : 3,77 à 3,83. Soluble avec effervescence dans les acides.

Malachite (*cuivre carbonaté vert*) ($CuOCO^2 + CuOH^2O$). — Clinorhombique. *mm* = 104°26'; cristaux très petits, presque toujours maclés suivant h^1 avec hémitropie autour d'un axe normal à ce plan. Clivage parfait à éclat nacré suivant *p*, imparfait g^1.

Plan des axes g^1. Bissectrice aiguë négative presque normale à la base ; dispersion inclinée.

D'un vert émeraude, tendant au vert d'huile; poussière vert-de-gris. Dureté : 3,5; densité : 4,03.

Fusible en colorant la flamme en vert; facilement réductible. Soluble dans les acides avec effervescence et dans l'ammoniaque.

Parmi les sulfates de cuivre naturels, on ne peut que citer :

Cyanose ($CuO, SO^3 H^2O$), qui cristallise dans le système triclinique, mais que sa solubilité dans l'eau ne permet de rencontrer qu'en agrégats stalactitiques, mamelonnés, en enduits de couleur bleue.

Brochantite ($2CuOSO^3 + 5CuOH^2O$). — Petits cristaux tabulaires, quelquefois aciculaires, d'un vert émeraude ou noirâtre, à poussière vert pâle, qui perdent de l'eau et de l'acide sulfurique à une température élevée et qui, avec le carbonate de soude, donnent la réaction des sulfures. Fusible au chalumeau, réductible.

Dioptase ($CuOSiO^2H^2O$). — Silicate hydraté de cuivre, cristallisé en prismes hexagonaux terminés par un rhomboèdre de 95°55, pris comme primitif, et modifiés par un hémiscalénoèdre $1/2\ d^3$.

Clivages parfaits suivant les faces $b^1\ b^1\ b^1 = 126°24$.

Couleur vert émeraude. Poussière verte. Transparence plus ou moins complète. Double réfraction énergique, positive. Éclat vitreux.

Dureté : 5; densité : 3,27 à 3,35.

Au chalumeau, noircit au feu oxydant, rougit au feu réducteur sans fondre; donne de l'eau dans le matras. Se dissout dans les acides en faisant gelée; dans l'ammoniaque, en laissant un résidu de silice.

Chrysocolle. — On admet, comme représentant la composition de ce silicate hydraté de cuivre, la formule CuOSiO + $2H^2O$, qui correspond à 34,23 silice, 45,23 oxyde de cuivre, et 20,54 eau. Cette matière d'un bleu de turquoise, tournant parfois au vert pistache, à cassure conchoïdale ou fibreuse, se présente en enduits, en concrétions quelquefois à structure radiée, peu éclatantes, plus ou moins translucides. Elle abandonne sa base à l'acide chlorhydrique en déposant de la silice gélatineuse et de l'ammoniaque après une longue digestion. Au chalumeau, elle colore la flamme en bleu, puis en vert, et devient rouge brique au feu réducteur.

Dureté : 2, 5. Densité : 2 à 3.

Au microscope, on y observe une structure sphérolithique; les fibres s'irisent, divergeant du centre vers la surface de couches emboitées les unes dans les autres. Les fibrilles élémentaires vues isolément avec la lentille à immersion s'éteignent parallèlement à leur longueur et sont négatives.

Accompagne les minerais de cuivre à Saïda et Schnelberg (Saxe), à Lauterberg (Hartz), Kupferberg (Bavière), Rezbanya, dans la Cornouaille, au Chili ; à Lipari, dans la lave. Elle est abondante dans la mine de Boléo (Californie), où elle est associée à du quartz et à de l'opale.

Cuivre. Ses gisements. — *Europe centrale.* — Les minerais de cuivre, sulfures et carbonate vert, forment des filons dans les gneiss, gris ou rouges, les schistes micacés et amphiboliques, parfois des couches, ayant pour gangues divers silicates, grenat, quartz, de la fluorine, du calcaire, à Freiberg, Berggieshübel, Seiffen, Katharinenberg, Schneeberg, dans l'Erzgebirge; des imprégnations en couches à Kupferberg et Plauen-Hof, dans le Fichtelgebirge ; des filons ayant pour gangues du calcaire et de la hornblende à Naustadt, Weitisberga ; des couches et des filons à gangues de calcaire, quartz et barytine, à Saalfeld (Ilmenau), dans le zechstein de la forêt de Thuringe ; des filons ou amas avec la barytine pour gangue dans les schistes du culm et du dévonien, à Lauterberg et Goslar, dans le Hartz; des couches avec galène et

minerais de bismuth, nickel, dans les schistes marno-bitumineux du zechstein de Mansfeld-Sangerhausen, au bord du Hartz; des filons dans les gneiss ou les granites, avec quartz et barytine, à Léopold et Salzbourg (Forêt Noire); des imprégnations dans le rothliegende de Brod Böhmisch et Starhenbach, dans le carbonifère de Trautenau (Bohême); des couches de contact dans la mine Ribnitz; des réseaux dans le calcaire grenu subordonné aux micaschistes avec malacolithe de Rochlitz, en Bohême; des filons avec gangue de quartz et actinote et minerais de fer associés à ceux d'argent, dans les schistes cristallins et argileux de Kupferberg (Silésie); des couches dans les schistes cristallins de Poschorita (Carpathes du Nord). La chalkopyrite aurifère constitue avec le quartz les filons des grès carpathiques tertiaires d'Olalaposbanya (Siebenbürg); avec le cuivre natif et l'oxyde de cuivre et des minerais de fer, de zinc, de plomb, d'antimoine et de l'or natif, accompagnés de grenat, de quartz, de calcaire et d'amphibole, elle forme des amas de contact ou des filons dans la syénite et le micaschiste d'Oravitza, Moldova, Dognacska, Banat. Des filons et des réseaux de minerais de cuivre et de fer traversent le gneiss à Maidanpeck (Serbie); des filons couches de minerais de cuivre à gangues de quartz, gypse et sidérose, se répandent dans la grauwacke schisteuse et les micaschistes d'Herrengrund; ils sont accompagnés de stibine et de quartz dans les micaschistes d'Altgebirge, dans les schistes de Libethen où il s'y associe un fahlerz argentifère: à Jaraba, près Bries, les filons de sulfures de cuivre courent dans le gneiss; ils renferment un fahlerz mercurifère à Gotterbach; ils ont pour gangues du quartz et du talc dans le grès carpathique de Vicartöez, près Leutschau; ils escortent les minerais d'argent, d'or, de bismuth, de fer, et prennent pour gangues du calcaire, du quartz, du grenat, de l'amphibole, dans les couches ou amas où ils s'étalent au contact du porphyre et des calcaires subordonnés aux micaschistes de Rezbanya; ils se subdivisent en stockwercks, se concentrent en amas dans les schistes chloriteux, argileux, et les grauwackes schisteuses de Kardeis et Breunthal

(Salzbourg), à Werfen (Salzbourg), à Ahrn, à Kitzbühel (Tyrol).

Italie. — On retrouve la chalkopyrite et autres minerais de cuivre dans les stockwercks qui déchirent les serpentines, les euphotides et les gabbros répandus au travers des macignos des Alpes Apuennes, de Monte-Molina, près Frassinova, de Monte-Nero, près Rochesta, de Monte-Catini (Toscane), de Monte-Vaso et Monte-Castelli. Les minerais cuprifères ont pour cortège la liévrite, la pyrite, la galène, la blende, l'amphibole et le quartz, dans les filons qui percent le calcaire grenu de Monte-Calvi et de Campiglièze (Italie supérieure).

Vosges et France. — Ils accompagnent le quartz, la barytine, la fluorine et quelquefois des minerais d'antimoine, dans les filons des grauwackes, à Urbeis, Saint-Nicolas; des minerais d'argent et d'arsenic dans les filons du gneiss de Sainte-Marie-aux-Mines (Vosges); de la bournonite, de la galène, de la blende, du quartz, du jaspe, du calcaire, de la sidérose, dans les filons des micaschistes et des serpentines de Villefranche-Najac, des schistes talqueux et argileux ou des gneiss de Corbières; des minerais de manganèse dans les granites et schistes cristallisés ou le grünstein, et surtout au contact de ces roches, dans les grès bigarrés de Chessy, près Lyon; de la stibine, du quartz et des minerais de fer, dans les filons qui sillonnent la grauwacke et les schistes métamorphiques de Baigorry, en Navarre.

Espagne. — A Rio-Tinto, province de Huelva, les filons renferment de nombreux minerais de cuivre, sulfures, carbonates, phosphates, arséniates, associés à la blende, la cassitérite, au quartz, à la fluorine.

Angleterre. — Les minerais du métal qui nous occupe constituent les filons du granite, des schistes argileux, du porphyre de Truro, de Saint-Austle, de Tavistock (Cornouailles); les filons ou les imprégnations du cambrien et du silurien du Merionetshire, de Wicklow.

Suède, Norvège, Irlande. — Associés à ceux de fer, de cobalt, de bismuth et de plomb, les minerais de cuivre ayant pour gan-

gues le grenat, le calcaire, la fluorine, l'apatite, l'épidote, la datolithe, l'axinite, l'helvine, forment des amas de contact dans les granites syénites et grauwackes de Christiania ; ils s'associent aux minerais de plomb, au quartz, à la chlorite, au mica, au talc, au grenat, aux amphiboles, à l'amiante, dans les couches qui imprègnent les schistes chloriteux et talqueux de Röraas (Norvège), dans les diorites qui traversent ces schistes à Kaafjord, dans les calcaires de Raipas. Les sulfures de cuivre constituent des amas, des couches avec quartz, feldspaths de toutes espèces, grenats et autres silicates, graphite, dans les schistes cristallisés de Falun, Garpenberg, Tunaberg (Suède) ; dans les schistes à Hornblende et les granites d'Orijärfvi, de Pittkaranda (Finlande).

Oural. — Dans l'Oural, c'est au contact de calcaires du silurien supérieur et de diorites percés eux-mêmes par des porphyrites qu'on rencontre les veines de minerais de cuivre entre les calcaires, d'une part, et les diorites accompagnées de grenat, d'autre part. Les minerais consistent en sulfures, hydrocarbonates bleu et vert, hydrosilicates, oxyde de cuivre ocreux et cuivre natif, mélangés d'argent natif, de blende, de sulfures de bismuth, de magnétite, au milieu de quartz, de calcaire, d'argile, le tout imprégnant les calcaires, diorites, grenat. Telle est la constitution des gisements de Tourinsk, aux mines de Frolow, de Bogoslowsk.

Dans le district de Nijné-Taguilsk, le seul gisement en exploitation est celui de Miednoroudiansk. Une masse de schistes métamorphiques, chloriteux, talqueux, argileux, contient le minerai au milieu des calcaires du silurien supérieur troublé par de nombreuses faibles; la roche éruptive est une sorte de diorite encore mal étudiée. L'horizon inférieur y montre les roches peu altérées contenant des filons de chalkopyrite ; l'horizon supérieur consiste en masses argileuses et ferrugineuses, qui contiennent les minerais oxydés et qui s'élargissent sous la forme d'un amas de 120 mètres de diamètre vers la surface, véritable *chapeau de fer*, où se rencontrent la cuprite, la malachite, l'azurite, le cuivre natif, la libéthénite, la brochantite avec la magnétite. En 1836, on a extrait un

bloc de malachite qui pesait près de 330 tonnes; cette malachite est livrée immédiatement au commerce pour l'ornementation. Dans le district de Slatooust, il y a des gisements analogues.

A l'ouest de l'Oural, dans les gouvernements de Perm, de Wiatka, Kazan, Oufa, Samara, Orenbourg, etc., se trouvent les gisements de minerais de cuivre liés aux grès permiens et triasiques. Le minerai se compose de carbonates, d'oxydes noir et rouge, de cuivre, avec volborthite et peu de sulfures; il forme des veinules, des nids, des amas qui s'intercalent dans les couches horizontales des grès, des marnes, des argiles et des conglomérats.

Grès d'Amérique. — On retrouve des gisements analogues dans les grès bigarrés d'Angleterre et dans le trias de New-Jersey et du Connecticut, ainsi que dans les grès de Corocoro, en Bolivie, imprégnés de cuivre et d'argent natif.

Mansfeld. — On peut mentionner à part le gisement cuprifère des schistes bitumineux, si connus sous le nom de kupferschiefer. Au sud-est du Hartz, dans le comté de Mansfeld, sous le calcaire fétide (stinckstein) du zechstein, repose une marne bitumineuse (dachflötz) recouvrant elle-même une couche de 10 à 20 pouces d'épaisseur d'une marne bitumineuse encore et plus schisteuse, renfermant des restes de plantes et d'animaux, des poissons hétérocerques en particulier, et complètement imprégnée de chalkopyrite, mêlée de chalkosine, de phillipsite, de cuivre gris, de cuivre natif et de ses oxydes, parfois d'un peu d'argent, ou de minerais de zinc, de cobalt, de nickel, de mercure, etc. Au-dessous s'étend le rothliegende.

Filons de l'Amérique du Nord. — Au lac Supérieur, le cuivre et l'argent natif, séparés l'un de l'autre, paraissent avoir été apportés dans le silurien par un porphyre qui ressemble aux porphyres permiens d'Europe.

Grèce. — Dans les mines du Laurium, on trouve un peu d'azurite, de cuivre métallique et de cuprite, colorant çà et là en vert la calamine et l'adamine.

Iles Feroé. — On y rencontre du cuivre en lames dans des sor-

tes d'argiles qui résultent de l'altération des roches basaltiques.

Les éruptions ou émanations du cuivre sont liées à celles des diorites, serpentines et basaltes.

En Toscane, le grès du Monte-Catini consiste en une masse de sulfure qui finit en coin près de la surface du sol et qui est enclavée dans une matière serpentineuse d'éruption boueuse épanchée au milieu de l'éocène supérieur (nummulithique).

Ce qu'on sait de plus certain, c'est qu'il y a eu deux époques d'apparition du cuivre. La première embrasse probablement les terrains permien et triasique, où le cuivre paraît avoir rempli les fentes qui forment comme des auréoles plus ou moins régulières autour des porphyres et s'être infiltré même plus ou moins avant dans les roches sédimentaires contemporaines. La seconde époque, d'apparition beaucoup plus récente, éocène sans doute, se rattache à la sortie des serpentines, diorites, basaltes, etc.

CHAPITRE XV

MINERAIS DE MERCURE

Mercure natif. — En gouttelettes dans le cinabre.

Cinabre (HgS). — Rhomboédrique. $pp = 92°37'$; $pa^1 = 127°6'$.

On observe souvent un grand nombre de rhomboèdres étagés les uns au-dessus des autres et souvent la base a^1.

Clivages e^2 parfait; variété granulaire, fibreuse, compacte.

Le cinabre possède la polarisation rotatoire, que M. Des Cloizeaux y estime 40 fois plus grande que dans le quartz.

L'ellipsoïde isotherme a son grand axe vertical.

Densité : 8,09. Dureté : 2 à 2,5; mou, sectile.

Éclat adamantin, transparent ou translucide; rouge de cochenille; sur certaines faces, apparence métalloïde; poussière d'un

rouge écarlate, vermillon naturel ; parfois la couleur en est masquée par des mélanges de matières bitumineuses, dans les schistes d'Idria.

Une variété de sulfure de mercure tétraédrique a été appelée *métacinabre* ; densité : 7,8.

Calomel (HgCl). — Quadratique. $b^{1/2} b^{1/2} = 98°17'$. Clivages h^1. Optiquement positif. Densité : 6,48 ; dureté : 1 à 3. Blanc ou blanc grisâtre, translucide ; éclat adamantin.

On connait encore : **Onofrite** [Hg (S, Se)] ; **Tiemannite** (HgSe) ; **Coloradite** (HgTe), lehrbachite, séléniure de mercure et de plomb.

Les filons de cinabre sont disséminés dans des schistes cristallins en Toscane ; mais on en rapporte le remplissage à la phase *alpine* (tertiaire) comme pour le minerai d'Idria.

CHAPITRE XVI

MINERAIS D'ARGENT

Argent natif (Ag). — Poids atomique : 107,7. Cubique. Faces fréquentes. Il contient souvent un peu de cuivre, d'or, d'arsenic, d'antimoine. Faces p, a^1, b^1, b^2, a^3, assez fréquentes, surtout a^1. Cassure hachée.

Couleur : blanc d'argent caractéristique : se ternit à l'air ; éclat métallique, râclure éclatante ; bleu par transparence en enduits très minces.

Très malléable et assez tenace.

Dureté : environ 3. Densité : 10 à 20. Fusible vers 1000°.

En cristaux groupés, en agrégats dendritiques, en filaments capillaires, contournés, qui souvent semblent sortir de la roche, en lames, en veines avec gangues calcaires.

Amalgame. — Cristaux éclatants d'un blanc d'argent, cubi-

ques, montrant les formes pb^1, a^1b^1, b^1pa^2, $b^1pa^2a^{1/2}$, et une face $b^1b^{1/2}b^{1/3}$. Composition en atomes AgHg ou quelquefois Ag^2Hg^3.

Au chalumeau, le mercure se volatilise et l'argent reste.

Arquérite. — Octaèdres très blancs éclatants de $Ag^{12}Hg$.

Dyscrases. — Ag^2Sb, Ag^3Sb, Ag^6Sb, Ag^{18} Sb, contenant de 64,29 à 94,20 o/o d'argent (fig. 205).

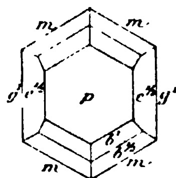


Fig. 205.

Cristaux orthorhombiques d'environ 120°, courts, striés, longitudinalement groupés par 3 autour d'un axe qui a une symétrie pseudo-hexagonale. Clivages p, e^1 ; m imparfait.

Dureté : 3,5 ; densité : 9,4 à 10.

D'un blanc d'argent ou d'étain, souvent jaunâtre ou même superficiellement noirâtre. Soluble dans l'acide azotique avec dépôt d'oxyde d'antimoine.

Stromeyérine (AgCuS ou $Ag^2S + Cu^2S$). — De 70 à 7,42 o/o d'argent et de 11 à 73 o/o de cuivre.

Orthorhombique, isomorphe de la chalkosine ; dureté : 6,2 à 6,3. Éclat métallique ; noire ou d'un gris d'acier. Fusible, soluble dans l'acide azotique.

Sternbergite ($AgFe^2S^3$, qu'on peut écrire $Ag^2S + 2FeS + FeS^2$) (argent, 33 ; fer, 36 o/o). — Orthorhombique. $mm = 129°30'$; $pa^1 = 124°49'$. Clivage basique parfait ; stries sur la base ; groupes en verticille autour de l'axe vertical ; agrégats ; dureté : 1 à 1,5 ; densité : 4,215.

Brune, tend au violet, poussière noire. Lames flexibles, tachant le papier.

Psaturose (*stéphanite*, *argent noir* en partie) (Ag^5SbS^4 ou $5Ag^2S + Sb^2S^3$) (argent, 68,5 o/o). — Orthorhombique.

$mm = 115°40'$; $pe^{1/2} = 126°6'$; $pb^{1/2} = 127°5'$.

Faciès d'un prisme hexagonal mg^1 combiné à une pyramide de même section $b^{1/2}$ $e^{1/2}$. Cristaux striés sur les bases, cannelés verticalement, souvent maclés. Clivages $e^{1/2}$, moins net g^1. Densité : 6,27 ; dureté : 2 à 2,5. D'un noir de fer ; poussière noire.

Dans le tube fermé, ils donnent un sublimé rouge de sulfure

d'antimoine. Au chalumeau, caractères de l'antimoine et de l'argent.

Polybasite (*argent noir* en partie) [$(Sb,As)^2S^3 + 9(Ag^2,Cu^2)S$]. — Orthorhombique; prismes hexagonaux mg^1; $mm =$ environ 120°; $mb^{1/2} =$ 121°30′. Clivages p. Stries triangulaires sur p. Densité : 6 à 6,25 ; dureté : 2 à 2,5.

Noire; poussière noire; rouge foncé en lames minces; bissectrice aiguë négative normale à p ; plan des axes h^1.

Argyrythrose (*pyrargyrite*) ($3Ag^2S + Sb^2S^3$) (57 à 60 o/o d'argent).

Formes dérivant d'un rhomboèdre de 108°42′, très voisines de celles du calcaire. Hémiédrie polaire; clivages p. Densité : 5,75 à 5,86 ; axe optique négatif; d'un gris de plomb extérieurement, à reflets rougeâtres; poussière d'un rouge un peu foncé; petit axe de l'ellipsoïde isotherme horizontal. Donne dans le tube fermé un sublimé de sulfure d'antimoine.

Proustite (*rosiclair*) ($3Ag^2S + As^2S^3$). — Isomorphe de la précédente. Rhomboèdre de 107°50′. Clivages p.

Axe optique négatif. Densité : 5,42 à 5,56. D'un rouge groseille dans les cristaux frais; poussière d'un rouge cochenille; éclat adamantin. Donne dans le tube fermé un sublimé de sulfure d'arsenic.

Freieslebénite (*schilfglaserz*, argent roseau) [$(Pb, Ag^2)^5 Sb^4S^{11}$ ou $5(Pb, Ag^2S) + 2Sb^2S^3$] (22,91 o/o d'argent). — Clinorhombique. $mm =$ 119°12′; $pe^{1/2} =$ 118°21′; $ph^1 =$ 92°14′. Les cristaux sont chargés de facettes dans les zones g^1h^1 et pg^1.

Dureté : 2,5 ; densité : 6,2.

Couleur d'un gris d'acier ou de plomb noirâtre; éclat souvent vif, métallique. Facilement fusible.

Brongniartite [$2(Pb, Ag^2) S + Sb^2S^3$]. — Octaèdres réguliers (26,12 o/o d'argent).

Kérargyre (*argent corné*) ($AgCl$) (75,3 o/o d'argent). — Cubique. p, a^1, cristaux assez rares; ordinairement ce minerai se rencontre en petites masses, en veines, en croûtes blanches et

transparentes, tant qu'elles n'ont pas été altérées par la lumière du jour, mais le plus souvent brunes ou violacées, dans les fentes ou sur les parois des roches. Il est mou, se coupe au couteau comme de la corne, dont elle a le faciès. Densité : 5,3 à 5,43.

Facilement fusible, réductible sur le charbon.

Souvent il est mêlé de bromure. L'acide chlorhydrique en dissout 1/200. Si dans un verre contenant du chlorure d'argent on verse de l'acide sulfurique concentré et qu'on y plonge une lame de zinc, celle-ci se recouvre d'argent.

Bromite (*bromargyrite*) (AgBr) (57,45 o/o d'argent). — Cubique. Ordinairement d'un vert olive, jaunâtre, souvent concrétionné. Soluble à chaud, quand il est pur, dans l'ammoniaque concentré, le cyanure de potassium.

Embolite. — Chlorobromure d'argent, jaune ou vert; cubique; en enduits, en croûtes à la surface des minerais et des roches.

Iodyrite (AgI) (46,25 o/o d'argent). — Rare; verdâtre.

Gisements. — Les minerais d'argent sont associés à ceux de cuivre, de plomb, dans les filons de l'Erzgebirge, ayant pour gangues le quartz, la fluorine, la barytine, à la cassitérite, à Ehrendensdorf, au bismuth à Joachimsthal (Johanngeorgenstadt), au nickel et au cobalt à Schneeberg. Ils ont été amenés par des pétrosilex et des pechstein.

On exploite à Freiberg de l'argent rouge avec péchurane, minerais de cobalt et de bismuth (âge des Alpes); l'argent se rencontre avec le cuivre dans les schistes bitumineux du zechstein du Hartz.

Dans la Forêt Noire, les gneiss, les granites et même les grès bigarrés sont traversés par des filons d'argent natif et d'argent rouge. A Bodenmais, les gneiss renferment dans des filons en couches des minerais d'argent avec pyrite magnétique, cordiérite, etc.

L'argent accompagne l'or dans les filons, des grunsteins et des tufs tertiaires à Kremnitz, le cuivre, le zinc à Schemnitz.

Les Alpes sont assez riches en filons, couches, amas disséminés dans les schistes cristallins et les schistes argileux.

A Allemont (Isère), on a exploité, à la mine de Challanches, à 2100 mètres d'altitude, un réseau de fentes, les unes parallèles aux schistes avec argent natif, dirigées N.-S., les autres, dirigées E.-O., avec cobalt, nickel, antimoine, antimoine arsénical.

Dans l'Italie supérieure, les filons de galène argentifère avec cuivre se répandent dans les micaschistes et dans les couches crétacées de la Toscane.

Dans la France centrale, la galène argentifère avec blende et barytine occupe les filons du granite, du porphyre et du carbonifère de Saint-Just, de Najac dans les Corbières, des schistes des environs de Pontgibaud (Puy-de-Dôme), les fentes des schistes et du trias des environs de Milhau (Aveyron).

Il en est de même dans les schistes de Poullaouen et de Huelgoat, en Bretagne; à Poullaouen, on rencontre de l'argent natif.

En Espagne, se trouvent les beaux filons de Hiendelancina, dans les schistes cristallins avec argent natif, argent rouge, et autres sulfures.

En Angleterre, les filons de galène déchirent des schistes anciens.

Aux environs de Kongsberg (Norvège), les schistes cristallins amphiboliques et siluriens sont traversés par des granites. Certaines zones, fahlbandes, sont imprégnées de sulfures métalliques, dont plusieurs sont des minerais d'argent avec argent natif.

Les fahlbandes, dirigées de l'est à l'ouest, ont des formes lenticulaires à grand axe parallèle aux schistes et se divisent souvent en branches cunéiformes.

Les filons traversent les schistes normalement. Au lac Supérieur, on observe que le cuivre et l'argent natifs associés dans le même gisement se sont consolidés chacun de leur côté.

En Californie, district de Washoé, est le fameux filon de Comstock (*Comstocklode*); c'est la principale des fentes d'un faisceau répandu au contact d'une roche dioritique; le minerai consiste en sulfures d'argent noirs, mêlés à d'autres minerais d'argent et à de l'argent natif.

Au Mexique, il y a un réseau compliqué de minerais d'argent souvent aurifères dans des roches de tout âge et de toute origine, jusque dans les trachytes (argent natif, argents rouges et noirs). Au Chili, l'argent rouge (rosiclair) compte parmi les principaux minerais du métal précieux.

CHAPITRE XVII

MINERAIS D'OR

Or natif (Au). — Cubique; formes p, a^1, a^3, b^1, b^2, $b^1 b^{1/2} b^{1/4}$, etc. Macles avec plan de jonction parallèle a^1.

Dureté : 2,5 à 3; densité : 14,556 à 19 (parfois 20 o/o d'argent). Quelquefois il contient du rhodium et du palladium.

Cassure déchirée; éclat métallique; couleur jaune d'or, tendant au rougeâtre; vert par transparence, en enduits très minces.

Très ductile, très maléable, tenace.

Fusible vers 1200°; soluble dans l'eau régale.

Se présente en lamelles microscopiques, en pépites quelquefois volumineuses, en filaments capillaires.

Élasmose (sulfotellurure de plomb et d'or) (or, de 7 à 9 o/o). — Quadratique. $pb^1 = 109°59'$. Structure lamellaire. Clivage p.

Ellipsoïde isotherme de rotation ayant son axe vertical plus petit que les horizontaux parallèles à la base.

Densité : 7; dureté : 1 à 1,5. Très tendre, flexible en lames minces.

Éclat métallique; couleur gris de plomb noirâtre.

Soluble dans l'acide azotique en donnant du sulfate de plomb aurifère, d'où l'on peut retirer l'or sur le charbon au chalumeau.

Soluble dans l'eau régale en donnant du chlorure de plomb.

Sylvane (*schrifterz*, *tellure graphique*) ($4AuTe^2 + 3AgTe^2$) (26,47 o/o or; 11,47 argent, avec un peu d'antimoine, de plomb

et de cuivre). — Clinorhombique. $mm = 94°26'$; $ph^1 = 91°25'$; $pd^{1/2} = 127°16'$.

Les cristaux très petits, à forme très compliquée, sont mous, fragiles, en aiguilles courtes et striées longitudinalement, ou lamellaires, groupés par deux parallèlement à h^1 et formant des séries disposées comme les *barbes d'une plume*. Clivages p et g^1. Dureté : 1,5 à 2 ; densité : 7,99 à 8,33. Couleurs : gris d'acier clair, blanc d'étain, jaune de laiton.

Petzite (tellurure d'or).

Gisements. — L'or a généralement le quartz pour gangue ; il forme des veines, des imprégnations dans certaines roches éruptives ou sédimentaires ; il remplit des fentes et des cavités, qu'il a trouvées vides.

Il est disséminé dans des sables ou des graviers, qui doivent tout ou partie de leurs éléments à des roches aurifères démolies ; on appelle ces gisements *lavages* ou *placers* ; il y est parfois cantonné sur des espaces très restreints, par suite d'un triage naturel. Il s'y rencontre en pépites, en paillettes souvent imperceptibles. Le Rhône, le Rhin en charrient encore de très infimes quantités. On a trouvé, au contraire, de temps à autre, des pépites assez volumineuses, de 15 à 36 kilos dans les lavages des monts Oural, de 43 kilos en Australie, de 60 kilos en Californie. On évalue l'or du Rhin aux 7 dix-millionièmes du gravier que transporte ce fleuve. Le Danube, l'Ariège, la Garonne, le Gardon, dans les Cévennes, en charrient des parcelles.

En France, il y a un filon d'or, peu important, il est vrai, à la Gardette, à 6 kilomètres au sud de Bourg-d'Oisans. Encaissé dans le gneiss, ce filon a dû se rouvrir à plusieurs reprises pendant les mouvements brusques de la contrée, comme en témoignent le polissage des fragments de quartz dus à des frottements, les apports successifs de quartz, de galène, de pyrite, de cuivre gris, puis de quartz et de galène aurifères.

A Callanda, dans les Alpes, on exploite des filons aurifères dans des schistes du lias devenus chloriteux par métamorphisme. Dans

le centre de la Hongrie, dominées à l'est, au nord, à l'ouest, par les Carpathes, au sud par un rameau des Alpes, les plaines sont formées de couches tertiaires ou post-tertiaires. Au nord, ce sont des schistes cristallins, grauwackes, granites, qui constituent les montagnes ; au sud, se développe une grande formation de trachytes, à Felsobanya, qui encaisse des filons de quartz avec pyrite, or invisible, cuivre gris argentifère. A Nayyag, on retrouve les mêmes minerais avec argent rouge ; à Kapnik, avec diallogite, arsenic natif, fluorine; à Kremnitz, avec des minerais d'argent et d'antimoine. A Schemnitz, c'est une syénite entourée de trachytes à feldspath aluminoterreux avec ponce et tufs, dont les fentes et les cavités sont remplies de pyrite, minerais de plomb, zinc, argent et cuivre. A Voröspatak, les trachytes traversent le grès des Carpathes et on y exploite les gisements aurifères d'Offenbanya, tellurures riches en or et en argent. L'émanation aurifère paraît miocène, peut-être même plus récente; elle date sans doute de l'époque où les Alpes ont subi leur dernier soulèvement.

A Bérésowsk, à 15 verstes au nord de Katharinenbourg, s'étendent des schistes cristallins traversés par une roche granitoïde, à feldspath aluminoterreux, appelée bérésite. On y rencontre de nombreux filons de quartz avec pyrite décomposée et or natif, limonite, tourmaline, pyrophyllite, nadelerz, galène, céruse, crocoïse, vanadinite, magnétite, bismuth, platine, provenant de serpentines, sur plus de cent lieues de longueur, parallèlement à l'Oural, dans un limon quaternaire.

En Amérique, au pied de massifs schisteux traversés par les granites porphyroïdes, entre la Sierra Nevada et les montagnes de la côte, le fond des vallées anciennes est formé d'alluvions aurifères, d'argiles de plusieurs centaines de mètres de puissance, res couvertes d'un manteau de trachytes, comme le montrent bien le coupes de la formation de Yuba-Valley.

Un gisement analogue se retrouve dans les gîtes de Ballarat, en Australie.

Au Transvaal, autour de Johannesburg, sous des lambeaux de

l'étage rhétien, qui contiennent de la houille et des fossiles végétaux de la fin des terrains primaires, se trouve une grande formation de conglomérats, à gros galets de quartz avec ciment d'oxydes de fer et de pyrite décomposée; autour des galets, dans le ciment, et engagées dans les galets mêmes, on observe difficilement à l'œil nu, mais on recueille par les procédés perfectionnés de l'industrie moderne de grandes quantités d'or. Dans la partie centrale, la teneur atteint 40 grammes à la tonne; mais, non loin de là, elle ne dépasse pas environ 15 grammes. Quant aux conglomérats, peut-être dévoniens, ils affleurent sur une très longue bande et s'enfoncent rapidement en général sous une très grande inclinaison; mais celle-ci diminue avec la profondeur et les couches tendent à devenir horizontales.

CHAPITRE XVIII

MINERAIS DE PLATINE

Platine (Pt). — Cubique. Tenace.

Densité : 17 à 17,5 (platine de Russie), 18,9 (platine de l'Amérique du Sud).

Dureté : de 4 à 4,5; souvent magnétique.

Éclat métallique; d'un gris d'acier. Se présente en grains, en pépites, en lamelles.

Le platine de Sibérie contient 79 o/o de platine, près de 5 o/o d'iridium, des traces de palladium, de rhodium, 11 o/o de fer; celui de Choco, 86 o/o de platine, 1 o/o d'iridium, 2,16 o/o de rhodium, 1,91 o/o d'osmiure d'iridium.

Newjanskite (IrOs à Ir^3Os). — Densité : 19,4; dureté : 7; blanc d'étain; éclat métallique.

Sysserskite ($IrOs^3$ à $IrOs^4$). — Densité : 21,1 à 21,2; dureté :

7 ; noir ; éclat métallique. En prismes hexagonaux $b^{1/2}$ $b^{1/2}$ adj. = 124°.

Fondu avec le nitre, il donne des vapeurs odorantes, dangereuses, et une masse verte, qui, dissoute dans l'eau et chauffée, abandonne de l'oxyde bleu d'iridium.

Platiniridium. — Cubique. Ordinairement en grains avec le platine. Dureté : 6 à 7. Densité : 22,6 à 23. Couleur blanc d'argent, un peu jaunâtre superficiellement. Les grains de Nichsne-Taguilsk contiennent 19,64 platine, 76,8 iridium, 0,89 palladium, 1,78 cuivre ; au Brésil, 55,44 platine, 27,79 iridium, 0,49 palladium ; à Ava, dans l'Inde, 20 de platine et 60 o/o d'iridium.

Calciné avec du nitre, il se transforme en iridiate de potasse, qui se dissout en partie dans l'eau avec une couleur indigo, lorsqu'il est pur ; la majeure partie reste à l'état d'oxyde noir indigo.

Palladium. — En petits cubes, ou octaèdres, ordinairement en grains quelquefois aciculaires. Dureté : 4,5 à 5 ; densité : 11,3 à 11,8. Éclat métallique ; blanc ou gris ; accompagne le platine dans l'Oural. Une variété du Hartz offre un clivage qui semble la base d'une forme hexagonale. Zinker l'a appelée *allopalladium*.

Laurite (*sulfure de ruthénium et d'osmium*). — Cubique. Densité : 6,22 ; dureté : 7,5 ; noir de fer ; éclat vif.

Sperrylite ($PtAs^2$). — Densité : 10,6 ; dureté : 6 à 7 ; cubique. Forme *p*. Couleur blanc d'argent.

Gisements. — On a observé quelquefois des grains de platine mêlés à du fer chromé dans des fragments de péridotite ou de serpentine. On en a rencontré aussi des parcelles engagées dans le quartz et la roche granitoïde de Bérésowsk, appelée *bérésite*.

Dans les provinces de Choco, Antioquia et de Barbacoas (Colombie), le platine est recherché dans les lavages aurifères. Il accompagne également l'or avec osmium, palladium, iridium, dans les alluvions de Minas Geraes (Brésil).

CHAPITRE XIX

CHLORURES

Sel gemme (NaCl). — Système cubique. Formes p, a^1. Groupes en trémies dans les chaudières. Clivage p. Les figures de choc (fig. 206), opérées à la manière de Reusch consistent en deux fis sures de clivage parallèles aux diagonales des faces p. Indice de réfraction : 1,544 D. Incolore, gris, verdâtre, bleu, parfois rougeâtre. Courbes isothermes circulaires.

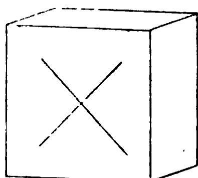


Fig. 206.

Densité : 2,135 ; dureté : 2. Saveur salée. Fusible ; soluble dans l'eau ; donne les caractères du chlore et du sodium.

Sylvine (KCl). — Cubique. Clivages cubiques. Caractères physiques du sel gemme. Indice de réfraction : 1,49 D. Densité : 1,95 environ ; dureté : 2. Incolore, verdâtre, bleu.

Salmiac (AmCl). — Cubique, hémièdre. Formes dominantes : a^1, a^2, b^1, a^3, souvent déformées. Indice de réfraction : 1,642 D.

Donne de l'ammoniaque avec la chaux ou la potasse.

Fluorine (NaCl). — Cubique. Clivage a^1. Formes dominantes : p, a^1, b^1, a^2, b^2, b^3, $i = b^1 b^{1/2} b^{1/4}$. Cristaux remplacés par du quartz, de l'agate. Groupe de deux individus avec plan de jonctions a^1 et hémitropie. Le plus souvent cristallisé ; quelquefois massif ou grenu, ou même opaque (très rare). Clivage a^1 très net. Couleurs : incolore et limpide, jaune, vert, rose, rouge, cramoisi, lie de vin, violacé. Parfois bleue ou violacée par réflexion, verte ou d'un blanc jaunâtre par transparence. Les couleurs réfléchies portent le nom de lumière épipolique et paraissent dues à de la phosphorescence ; elles disparaissent les jours de brouillard. Cer-

taines variétés émettent des lueurs vives, vertes ou violettes, quand on les chauffe.

Beaucoup de ces couleurs proviennent de matières organiques. Certaines variétés, d'un violet foncé quand on les casse, dégagent des vapeurs odorantes, qui peuvent même incommoder les ouvriers dans les mines.

Densité : 3,185; dureté : 4. Fond sur le charbon. Donne, au chalumeau, les caractères du fluor.

Cryolithe (3NaFl, Al^2Fl^3). — Triclinique. $mt = 91°57'$; $pm = 90°40'$; $pt = 90°2'$. Clivages parallèles aux faces : 1° *p*; 2° *m* et *t* du prisme choisi comme primitif. Plan des axes normal à g^1. Bissectrice aiguë positive inclinée de 44° sur l'arête verticale. Indice de réfraction : 1,364 (moyen).

Densité : 2,95; dureté : 2,5. Blanche comme la neige. Fond à la flamme d'une bougie; blanche; en masses clivables.

Nous mentionnerons pour mémoire la pachnolite (NaFl, $CaFl^2$, $AlFl^3$); la chiolithe (6NaFl, $3Al^2Fl^3$), et des fluorures d'aluminium et de sodium qu'on trouve en certaine abondance à Stassfurt. Toutes ces substances donnent, au chalumeau, les caractères du fluor.

CHAPITRE XX

OXYDES TERREUX

Périclase (MgO). — Dans la nature on trouve ordinairement le mélange isomorphe (Mg, Fe)O cristallisé en octaèdres réguliers. Infusible au chalumeau, soluble dans les acides; très rare.

Reproduite par Deville qui soumettait la magnésie terreuse à l'action d'un courant d'acide chlorhydrique, par Daubrée qui faisait réagir la chaux sur le chlorure de magnésium, et par Ebelmen qui soumettait le borate de magnésie à une température très élevée.

Brucite [$(H^2, Mg)O^2$ ou $MgOH^2O$]. — Cristallise en tables hexagonales (a^1) modifiées par des rhomboèdres. On a pris pour primitif le rhomboèdre $pp = 82°23'$. Le clivage a^1 est facile. Dureté : 2 ; densité : 2,35. Infusible au chalumeau. Axe optique positif. Indice moyen de réfraction : 1,559. Propriétés thermiques.

Une variété fibreuse, la némalite, se transforme à l'air en hydrocarbonate.

Corindon (Al^2O^3). — Les formes dérivent d'un rhomboèdre de 86°4' dont on appelle les faces p. $pa^1 = 122°26$; $e^1e^1 = 68°45'$.

Les formes les plus habituelles sont p, a^1, d^1 (rubis naturel) ; $e_3 = d^1d^{1/3}b^1$, $d^1d^{1/5}b^{1/3}$, $d^1d^{1/7}b^{1/5}$, $d^1d^{1/9}b^{1/7}$. $e_3e_3 = 122°22'$ à la base et 128°3' à la pyramide ; isocéloèdres où l'on a $2x = y - z$ en écrivant comme symbole général $d^{1/x}d^{1/y}\,b^{1/z}$ et prenant $y > x$.

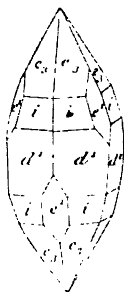


Fig. 207.

La figure 207 montre les formes e_3, i ($d^1d^{1/5}b^{1/3}$), e^1, d^1. Ces faces sont souvent arrondies, et la pyramide prend la forme d'un fuseau (saphirs de l'Orient).

Les bases sont généralement striées suivant leur intersection avec p, quelquefois avec d^1. On rencontre souvent des macles suivant les faces p.

Clivages suivant a^1 et p, souvent très nets ; quelquefois un des clivages p est moins net que les deux autres.

L'axe optique est négatif. On rencontre souvent des anomalies optiques, qui ont fait regarder par Mallard le véritable système cristallin comme pseudorhomboédrique. Mais, en général, les courbes isochromatiques sont bien circulaires, et la croix noire se disloque peu ou point. Transparence de tous les degrés. Éclat adamantin. Indice de réfraction assez considérable. Indice moyen : 1,768. $n_o = 1,769$; $n_e = 1,760$ pour le jaune (Ozann).

Les corindons d'un bleu un peu intense sont généralement plus bleus dans la direction de l'axe que dans les perpendiculaires ; d'autres montrent des colorations un peu différentes en lumière réfléchie et en lumière transmise ; quelques variétés paraissent

bronzées avec un certain éclat métallique sur la base; d'autres sont ternes et presque opaques. Dureté : 6; densité : 4.

Couleurs : blanche (*corindon blanc*, *télésie*, *saphir blanc*, *iacut blanc des Arabes*); rouge écarlate, rouge sang de bœuf (*escarboucle*, *rubis oriental*, *rubis iacut rouge*); violette (*améthyste orientale*); bleue (*saphir oriental*, *iacut bleu*, non pas le saphir de Pline); jaune (*topaze orientale*, *iacut jaune*); il y en a d'un vert d'eau, et même d'un vert émeraude (*émeraude orientale*).

Le corindon est infusible, insoluble dans les acides. Il peut être amené à l'état de sulfate quand il est chauffé à une haute température avec du bisulfate de potasse.

Reproduction. — L'alumine fondue peut, en se refroidissant lentement, prendre en masse une structure cristalline aussi régulière que l'eau qui se congèle à la surface d'un bassin. Aussi Gaudin a-t-il pu du premier coup reproduire le rubis avec tous ses caractères physiques en se contentant de fondre, au chalumeau oxhydrique, de l'alumine à laquelle il mêlait un peu de chromate de potasse.

Ebelmen mêlait de l'alumine à de l'acide borique, suivant sa méthode générale, et il exposait le tout à la température des fours à porcelaine; à cette température, l'acide borique se volatilise et l'alumine cristallise en lamelles hexagonales très minces.

Sainte-Claire Deville et Caron, au fond d'un creuset de charbon enfermé lui-même dans un creuset d'argile, introduisaient du fluorure d'aluminium, et, au-dessus du creuset, ils assujettissaient une petite coupelle de charbon remplie d'acide borique. A une haute température, il se forme du fluorure de bore qui se volatilise et de l'alumine qui cristallise sur la capsule plate de charbon.

Frémy a d'abord pris pour fondant un silicate de plomb qu'il formait au moyen de minium porté à une haute température dans un creuset de terre qui fournissait la silice et l'alumine. Plus tard, en collaboration avec M. Verneuil, il a mélangé du fluorure de calcium et de l'alumine; le fluorure a un grand pouvoir minéra-

lisateur sur l'alumine qui forme de très jolis cristaux ornés de facettes nombreuses et obliquement rhomboédriques.

On vend aujourd'hui, sous le nom de rubis régénérés ou reconstitués, de l'alumine à structure cristalline régulière, ayant toutes les propriétés physiques du vrai rubis (densité, dureté, caractères optiques), mais montrant à la loupe des bulles intérieures qui décèlent le passage d'un gaz et rappellent le procédé de Gaudin. Nous avons assisté, à l'École de physique et de chimie, à des expériences faites par MM. Terreil, Laugier, sous la direction de M. Étard. On avait placé dans un creuset d'alumine une petite quantité d'alumine, aussi pure que possible, obtenue avec de l'alun ammoniacal qu'on avait fait cristalliser plusieurs fois. Au moyen de l'appareil puissant dont l'École dispose, on a lancé la flamme oxhydrique sur le petit tas d'alumine, dans le creuset recouvert lui-même de la même matière, et l'on a obtenu un globule fondu comme ceux de Gaudin, mais composé de trois cristaux groupés parallèlement à p et qui montraient chacun très régulièrement les anneaux colorés circuaires et la croix noire.

Quant aux colorations diverses que les corindons présentent, on doit attribuer celles d'un rouge de sang, d'un bleu céleste, d'un vert émeraude, à des oxydes de chrome qui se sont formés sans doute à des températures différentes; car on peut reproduire ces couleurs en mêlant du bichromate de potasse à l'alumine soumise à la flamme oxhydrique, et l'on voit qu'elles se manifestent dans des régions soumises à des élévations différentes de température. Le corindon rouge, comme les pierres de cette teinte colorées par le chrome, devient vert à une température élevée et reprend à froid sa couleur rouge. Le saphir doit-il sa coloration au chrome ou au fer?

Diaspore ($Al^2O^3H^2O$). — Cristallise dans le système orthorhombique.

$mm = 93°42$; $b^{1/2}b^{1/2} = 126°10'$ (sur a^1); $h^3 h^3 = 119°47'$.

Se clive très facilement suivant g^1. Plan des axes optiques g^1; bissectrice aiguë positive normale à h^1

Angle apparent des axes $= 103°9'$; $\rho < v$.

Densité : 3,3 à 3,5 ; dureté : 6.

En masses lamellaires, imparfaitement fibreuses, d'un gris perle ou rosé avec éclat nacré, parfois d'un brun jaunâtre ou rougeâtre, quelquefois verdâtre. Les variétés de Schemnitz sont d'un bleu rougeâtre normalement à p, d'un bleu violet normalement à g_1, d'un vert d'asperge normalement à h^1. Indice de réfraction moyen : 1,722 pour le jaune.

Hydrargillite (*gibbsite*) ($Al^2O^3 3H^2O$). — Pseudo-hexagonale. $mm = 119°10'$; $pa^1 = 129°10$. Clivage p très facile. Plan des axes normal à g^1 ; bissectrice aiguë fait 21° avec l'arête g^1h^1. Densité : 2,34 à 2,39 ; dureté : 2,5 à 3.

La gibbsite se présente quelquefois en masses terreuses irrégulières, blanches.

Beauxite ($Al^2O^3 2H^2O$). — Se distingue surtout de l'hydrargillite, parce qu'elle n'est pas pure ; elle est ordinairement mêlée d'oxydes de fer. Sa densité est 2,65. On la rencontre en grains arrondis, concrétionnés, grisâtres, rougeâtres, mêlés d'oligiste et de limonite, dans un calcaire compacte, parfois en masses oolithiques ou terreuses, généralement calcarifères, à Beaux, près d'Arles (Bouches-du-Rhône), à la Guyane française, dans la crique-Boulanger, rivière Comté, où elle passe à l'hydrargillite.

CHAPITRE XXI

GROUPE DES SPINELLES

M^3O^4 qu'on écrit d'habitude MOM^2O^3.

Les métaux combinés à l'oxygène sont le magnésium, l'aluminium, le chrome, le fer, le manganèse, le zinc.

On peut mettre en tête du groupe une pierre précieuse, le spinelle ($MgOAl^2O^3$), transparente, d'une grande valeur en joaillerie,

mais assez rare, et le terminer par un minerai de fer opaque, MOM^2O^3, qu'on rencontre en masses considérables.

Tous ces minéraux cristallisent en octaèdres réguliers et plus rarement en dodécaèdres rhomboïdaux, associés quelquefois à d'autres formes cubiques. Ils sont par conséquent absolument isomorphes. On y rencontre aussi des cristaux maclés 2 à 2 parallèlement à une face de l'octaèdre (fig. 208).

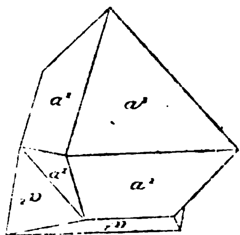


Fig. 208.

Spinelle proprement dit (*spinelle noble*, *rubis spinelle*) $(MgAl)^3O^4$ ou $MgOAl^2O^3$). — Il est dans les roches incolore ou faiblement rougeâtre, bien cristallisé ; on le rencontre dans les gneiss. Il a un indice de réfraction assez fort (1,715) en lumière jaune. Il a une densité de 3,55 à 3,6 et une dureté 8. Ils sont infusibles.

Les gros cristaux peuvent être rosés, d'un rouge écarlate.

Gahnite (*automolite*, *zincspinelle*). — Vert et transparent en lames minces. $n = 1,765$. En octaèdres ou en grains épars dans les schistes cristallins.

(Les substances très ferrifères de ce groupe, magnétite, chromite, etc., seront étudiées aux minerais de fer.)

Ebelmen a reproduit le spinelle en cristaux mesurables en dissolvant à une haute température leurs éléments dans l'acide borique où ils cristallisent pendant l'évaporation de cet acide.

M. Stanislas Meunier a reproduit le spinelle en chauffant au rouge un fil de magnésium sur lequel il faisait agir du chlorure d'aluminium et de la vapeur d'eau.

Stelzner et Schulze ont recueilli des cristaux de spinelle et de zinc associés à de la tridymite et à du silicate de zinc cristallisé et amorphe dans les produits sublimés d'usines de zinc.

Ceux-ci portés à une haute température deviennent noirs et, à froid, reprennent leur couleur rouge. C'est un caractère commun

aux spinelles rouges, aux rubis orientaux et aux grenats pyropes, tous colorés par du chrome.

Les grenats et les rubis orientaux moins riches en chrome deviennent simplement verts à une température élevée.

Chlorospinelles [(Mg, Fe) OAl^2O^3]. — Verts. Densité : 3,59 à 3,65. Dureté : 8.

Pléonaste [(Mg,Fe)O(Fe^2,Al^2) O^3 ou (Mg,Fe) (Al^2Fe^2) O^4].—Verts lorsqu'ils sont transparents, ou noirs et sans éclat métallique s'ils sont opaques. Densité, dureté du chlorospinelle. On en trouve çà et là comme minéraux de la plus ancienne formation dans les roches éruptives, surtout volcaniques; ils ont souvent la forme de grains irréguliers.

Picotite. — Chromospinelle jaune ou brun, transparent en lames minces; il se distingue de la chromite par sa densité 4,05 et par sa dureté 8, celle des spinelles. On le rencontre en inclusions dans l'olivine des basaltes, dans les lherzolithes, dans les serpentines, en grains irréguliers, quelquefois en cristaux.

Hercynite ($FeOAl^2O^3$).—Vert foncé, qui se présente disséminé dans la granulite de Saxe. Densité : 3,91 ; dureté : 8. Il s'associe au feldspath et au quartz.

Cymophane (*chrysobéryl*) ($GlOAl^2O^3$). — Orthorhombique. $mm = 119°41'$; $pb^{1/2} = 136°52'$. Presque toujours maclée.

Groupement simple. Deux cristaux sont accolés suivant leurs faces m et portent sur la base des stries parallèles à g^1.

L'effet est le même que si l'un des cristaux avait tourné par rapport à l'autre d'environ 60° autour d'une normale à p.

Dans la variété dite *alexandrite*, trois groupes semblables au précédent se réunissent en s'entre-croisant suivant les faces g^1 communes autour d'un axe pseudo-sénaire, et l'ensemble a la forme d'un dodécaèdre pyramidé composé de 24 faces $b^{1/2}$ et d'une base p marquée de stries parallèles aux traces g^1 des cristaux.

Plan des axes optiques g^1. Bissectrice aiguë normale à h^1 positive. Indice de réfraction moyen : 1,748 pour la raie D.

Éclat très vif. Couleur jaune d'or pur; parfois un chatoiement d'un effet agréable. L'alexandrite, qui contient du chrome, est d'un vert émeraude par réflexion et rouge par transparence, à la lumière du jour; rouge par réflexion, à la lumière d'une bougie

Densité : 3,72 à 3,74; dureté : 8,5.

CHAPITRE XXII

OXYDES DE TITANE

Rutile (TiO^2) (parfois 1 ou 2 o/o d'oxyde de fer). — Cristallise dans le système quadratique.

Angles des faces, d'après M. Des Cloizeaux : $b^1b^1 = 114°26'$ sur p; $b^{1/3}b^{1/3} = 54°44'$ sur p; $a^1a^1 = 95°20'$ sur p. $b : h = 1000° : 644{,}168$ (b, paramètre basique; c, paramètre vertical). b^1, $b^{1/3}$, a^1 de M. Des Cloizeaux correspondent à 101, 301, 111 de Miller.

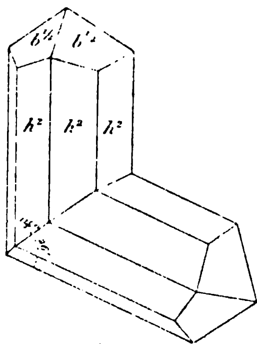


Fig. 209.

Groupements : 1° macle suivant b^1 avec rotation d'un des cristaux de 180°, autour d'une normale au plan de jonction; l'angle rentrant est de 114°26' (fig. 209); 2° macle analogue suivant $b^{1/3}$; angle rentrant de 152°33'. Le premier donne au groupe la forme d'un genou; le second, celle d'un cœur.

On observe quelquefois 3, 4, 5 et même 6 cristaux groupés chacun avec le suivant comme ils le sont eux-mêmes avec le précédent. Dans le cas de 6, un des angles est de 147°50'.

Clivages m, h^1 nets; cassure conchoïdale; stries verticales.

Cristaux translucides, d'un brun rougeâtre, rouge, d'un jaune

roussâtre; avec un certain polychroïsme. Éclat vif, un peu adamantin. Densité : 4,18 à 4,25. Dureté : 6 à 6,5.

Caractère optique : un axe positif.

Indices de réfraction considérables : $n_o = 2,6158$, $n_e = 2,9029$ pour la raie D. La réflexion totale sur les bords des sections minces est très forte, et les couleurs d'interférence sont très élevées. A moins de 1 millimètre d'épaisseur, on a du rouge de premier ordre. Pour une épaisseur même faible, on a des couleurs vagues difficiles à déterminer dans les variétés foncées.

Ellipsoïde isotherme; grands axes horizontaux $= 0,826$, l'axe vertical étant pris pour unité.

Dans les sections minces, on voit souvent un cristal traversé quelquefois d'un bout à l'autre par des séries d'aiguilles, qui s'entrecoupent sous l'angle de 114°25'. Ces aiguilles très petites forment quelquefois un réseau très serré, qu'on a nommé anciennement *sagénite*. Les clivages se manifestent dans les sections minces par des lignes très fines.

Inattaquable par les acides chlorhydrique et fluorhydrique, infusible au chalumeau, il y donne avec le borax et le sel de phosphore les réactions du titane. Si on fait une perle avec du rutile et du bisulfate de potasse, puis qu'on pose la perle sur une capsule de porcelaine et qu'on la mette en contact avec une goutte d'eau oxygénée, la perle et la liqueur se colorent en jaune orangé plus ou moins intense.

A cause de sa résistance aux altérations chimiques, le rutile se rencontre avec des minéraux qu'on peut regarder comme en étant dérivés, des fers titanés (*nigrine*) mêlés à une matière fibreuse ou grenue, d'un blanc jaunâtre, *titanomorphite* de Lasaulx, analogue au *leucoxène* de Gümbel, qui, d'après Cathrein, est du sphène.

Le rutile paraît s'être formé à leurs dépens dans les micas décomposés des kersantites et des minettes et de certaines diorites.

Le rutile est très répandu dans les gneiss, les roches appelées *phyllites* et celles qui leur sont subordonnées. Zirkel a montré le rôle important du rutile dans les roches schisteuses et particulière-

ment dans les ardoises des formations primaires, où ils abondent et ressemblent à des fragments de cheveux bruns. On doit à Cathrein leur détermination minéralogique.

Reproduction du rutile. — Sainte-Claire Deville a reproduit la variété aciculaire en faisant passer un courant d'acide chlorhydrique sur de l'acide titanique amorphe. Au moyen d'un courant d'acide fluorhydrique, M. Hautefeuille a obtenu des cristaux jaunes ou bleus et de la sagénite. Il a démontré que c'est des oxydes de titane celui qui se forme aux températures les plus élevées.

Anatase (TiO^2). — Système quadratique. Deuxième forme de l'acide titanique.

Formes dominantes : $b^1b^1 = 43°24'$ sur p ; $pb^1 = 111°42'$. On y observe b^1, moins souvent une série de pyramides dont les faces sont parallèles aux axes des zones pb^1, et qui ont pour faces b^2, b^3, b^4, b^5, b^6, b^7, quelques pyramides inverses. Paramètres $b : c = 1000 : 2513,242$, rapport incompatible avec celui que donne le rutile. Grands axes de l'ellipsoïde isotherme horizontaux.

Clivages b^1, p très nets; stries horizontales.

Double réfraction assez énergique ; $n_o = 2,554$, $n_e = 2,493$ pour le jaune (Miller). Couleurs : bleu indigo, noire, rouge hyacinthe, jaune verdâtre. Éclat adamantin. Des couleurs variées se montrent quelquefois disposées par bandes parallèles aux plans de clivage, les régions claires, jaunâtres, ayant des propriétés optiques normales, les bleues présentant en lumière convergente une croix noire disloquée en branches d'hyperboles. Pour de très faibles épaisseurs en lumière convergente, on a des couleurs d'interférence du quatrième et du cinquième ordre.

L'anatase se rencontre dans les gneiss décomposés, les schistes cristallisés, dans un certain nombre de porphyres et même dans des roches sédimentaires de tous les âges, formé accidentellement aux dépens de minerais titanifères plus anciens.

M. Hautefeuille l'a reproduit en décomposant le fluorure de titane par de la vapeur d'eau à une température qui ne dépasse pas 800°, inférieure à celle où l'on peut obtenir du rutile.

D'après G. Rose, dans les perles du sel de phosphore que l'on forme pour reconnaître le titane au chalumeau, au feu de réduction d'abord, puis au flamber, il se forme de l'anatase. Mais la détermination cristallographique de ce produit n'a pas été peut-être absolument rigoureuse.

Brookite (TiO^2). — Système cristallin orthorhombique. Troisième forme de l'acide titanique.

$mm = 99°50'$; $a^1h^1 = 119°18'$; $e_3e_3 = 135°37'$ de côté; $e_3 = b^1 / ^3 g^1$ (121). On y observe surtout les faces m.

Paramètres, d'après les données de M. Des Cloizeaux : $a : b : c = 1,783 : 2,119 : 1$ (a, axe antérieur; b, axe latéral; c, axe vertical).

Cristaux aplatis tabulaires suivant h^1. Dans l'arkausite domine l'octaèdre e_3 modifié par les faces m.

Clivages g^1. Plans des axes optiques p pour le rouge, g^1 pour le vert (cristaux de la Tête-Noire), variable avec les plages des cristaux et les températures qu'ils ont subies (Descloizeaux). Bissectrice aiguë positive normale à h^1. Indice de réfraction moyen : 2,62. Angle des axes beaucoup plus grand pour le rouge que pour le vert. Double réfraction assez forte.

Ellipsoïde isotherme; grand axe horizontal et normal à g^1 sur h^1 dans les cristaux de l'Oisans.

Densité : 4,1; dureté : 6.

CHAPITRE XXIII

SILICE

L'on connaît la silice dans la nature sous deux états isomériques très différents : 1° l'un est présenté par la silice insoluble dans les acides et dans les dissolutions alcalines. Elle est toujours anhydre; elle a pour densité 2,6, et la structure cristalline. Le quartz a

pour indice de réfraction moyen 1,544. C'est de cette silice que sont faits le quartz hyalin, les agates, les jaspes. 2° L'autre espèce de silice contient presque toujours de l'eau, dont la proportion est quelquefois même assez considérable; elle a une densité de 2,2 au plus. C'est la matière des opales. L'opale a pour indice de réfraction moyen 1,44. Toutes les variétés de silice connues sont attaquables par l'acide fluorhydrique.

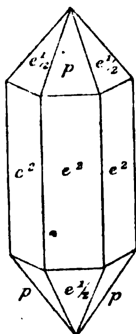


Fig. 210.

Quartz hyalin (cristal de roche). — Acide silicique SiO^2, composé de silicium (46,67) et oxygène (53,33).

Formes cristallines dominantes : le prisme hexagonal régulier (fig. 210), terminé par des pyramides à six faces, ou les faces des pyramides seules (dihexaèdres) (fig. 211). Les faces du prisme sont souvent marquées de stries horizontales ou transverses.

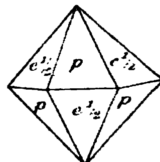


Fig. 211.

Angles d'une face de la pyramide et de la face adjacente du prisme : 141°47'; angle des faces adjacentes du prisme : 120°; angle de deux faces alternes d'une pyramide ou du rhomboèdre primitif : 94°15'.

Assez souvent on voit les angles à 4 faces où se rencontrent la pyramide et le prisme modifiés par des facettes dissymétriques tournant en hélice de droite à gauche (quartz droits) ou de gauche à droite (quartz gauches). Cet enroulement est en rapport avec le sens de la rotation que les cristaux de quartz exercent sur le plan de polarisation de la lumière. Des clivages peuvent être obtenus sur les faces du prisme et sur celles de la pyramide, mais difficilement.

Le quartz a pour dureté 7; il est plus dur que le feldspath; il est rayé par la topaze. Il est soluble dans la potasse en fusion, lorsqu'il a été finement pulvérisé. Pur, il est incolore et limpide; mais on le rencontre coloré en noir (quartz enfumé) par des ma-

tières bitumineuses ou charbonneuses; en violet par du manganèse (*améthyste*); en bleuâtre, en rose, en vert, par diverses matières; en rouge, en jaune, par des oxydes de fer. Dans les roches, il est ou incolore, ou d'un blanc grisâtre, parfois violacé ou enfumé; il a souvent l'aspect un peu gras, et toujours la cassure vitreuse. Il est infusible au chalumeau. Si on le chauffe avec du carbonate de soude, sur le charbon, il se produit un silicate de soude facilement fusible en perle transparente, et une vive effervescence occasionnée par l'acide carbonique et l'eau que dégage le carbonate. Chauffé dans une perle de sel de phosphore, un fragment de quartz y tournoie sans subir aucune altération sensible. Le quartz possède la propriété de faire tourner le plan de la lumière polarisée. Une lame d'un millimètre d'épaisseur exerce une rotation d'environ 21° sur le plan de la lumière jaune (flamme contenant du chlorure de sodium). Cette rotation est proportionnelle à l'épaisseur. Certains cristaux la déterminent de la droite vers la gauche; d'autre, de la gauche vers la droite.

Le quartz fait partie des cristaux optiquement uniaxes. Aussi les plaques de ses cristaux perpendiculaires à l'axe de symétrie montrent-elles des anneaux colorés circulaires, entre deux nicols croisés en lumière convergente; mais, à cause de la rotation qu'elles impriment au plan de la lumière polarisée, elles ne laissent voir les deux lignes noires rectangulaires qui traversent les anneaux qu'au-dessous de 3 millimètres d'épaisseur. Elles sont optiquement positives.

Les indices de réfraction principaux sont 1,55338 et 1,54423, d'après M. Mascart. M. Dufet a donné la loi des changements que subissent ces indices de réfraction pendant les variations de température.

Dans les porphyres, les trachytes et leurs modifications vitreuses, le quartz offre ordinairement des formes géométriques assez régulières, arrondies cependant ou incomplètes quelquefois; il est presque toujours assez limpide dans ces roches et assez pur, bien qu'on y observe par places des cavités remplies de fluides. Ses

cristaux montrent en section droite des hexagones, des doubles triangles isocèles. Dans les granites et les schistes cristallisés, il se présente en grains qui se moulent sur les autres éléments qui lui sont associés.

Dans les pegmatites, il enveloppe le feldspath, et les sections de ses cristaux offrent des lignes polygonales, souvent parallèles, qui s'éteignent toutes à la fois. Le quartz des granites et des schistes cristallisés est rempli d'une foule d'inclusions qui l'obscurcissent; Sorby et Zirkel regardent la masse de ces matières comme composée d'eau renfermant des cristaux de chlorure de sodium.

Au microscope, en lumière polarisée, les grains de quartz présentent une sorte de noyau plus ou moins coloré au milieu de régions concentriques colorées de teintes différentes.

Les variétés fibreuses s'éteignent parallèlement à leur longueur, direction de l'axe optique; l'allongement en est positif.

Souvent dans les porphyres, les rhyolites, le quartz présente une structure globulaire, sphérolithique; les fibres noyées dans une masse d'opale peuvent s'éteindre toutes ensemble; souvent aussi les fibres sont parallèles aux rayons du globule, et l'on observe entre deux nicols croisés une croix noire positive.

Agates. — Variétés de quartz amorphes, translucides, à cassure esquilleuse; on y aperçoit une foule de petites cavités canaliculaires. Elles offrent souvent des colorations assez vives et assez régulièrement disposées, agates œillées, rubannées, onyx.

On appelle cornaline l'agate rouge cerise, sardoine l'agate d'un brun orangé, prase celle d'un vert pomme, etc. Les agates sont susceptibles d'un beau poli.

Silex. — Éclat moins vif. Cassure conchoïde ou conique. Dureté : 7. Il se brise en éclats tranchants, translucides, au moins sur les bords. La lessive de potasse en dissout ordinairement une très petite proportion. Le silex contient à peine 1 o/o d'eau et 1 o/o de chaux, alumine et oxyde de fer.

Il s'en dégage quelquefois par le choc une odeur un peu bitumineuse. Souvent la partie extérieure de ses nodules est plus

blanche et plus friable que la masse. C'est de la silice farineuse, plus ou moins soluble dans les dissolutions alcalines. Le silex est très répandu en rognons, en petits bancs, en lits interrompus, dans les terrains secondaires et en particulier dans la craie. La couleur en est très variable; ordinairement elle est d'un gris plus ou moins noirâtre. Le ton en est en général trop ingrat pour des applications aux besoins de l'homme. Il n'a en général servi qu'aux premiers humains pour la confection de leurs armes ou des instruments de leur industrie primitive.

Jaspe. — Quartz cristallin, en masse compacte, opaque, mat, coloré en jaune, en rouge, en vert, en noir, en bleuâtre, en gris perle, etc., par diverses matières, surtout par des oxydes métalliques. Dans certaines variétés, les couleurs alternent deux à deux par bandes parallèles du plus agréable effet. La roche est dure, mais elle peut recevoir un beau poli. Le jaspe se trouve en petites masses ordinairement peu importantes, et souvent accompagnées de silex corné au voisinage des serpentines et des mélaphyres.

Hornstein. Silex corné. — Silex à cassure esquilleuse, presque plate, ayant l'aspect de la corne, grisâtre ou brun, souvent schistoïde. On le rencontre surtout dans les dolomies du trias.

Meulière. — Silex molaire. Silex d'un blanc grisâtre, rougeâtre, verdâtre, jaunâtre, etc., ayant quelquefois l'éclat résinoïde ou terne ou terreux. Son caractère est d'être criblé de cavités, de trous, de pores vides ou remplis d'argile (terrains tertiaires des environs de Paris).

Calcédoine. — La calcédoine, d'un blanc laiteux, translucide, a ordinairement la forme de concrétions cristallines, à cassures esquilleuses, formées de fibres parallèles à la direction de plus grande élasticité optique, que leur signe négatif distingue de celles du quartz; les fibres sont tellement fines qu'il est difficile d'y constater si elles sont à un ou deux axes; on est souvent porté à les regarder comme biaxes; elles ont une double réfraction faible; elles semblent souvent noyées dans de l'opale, elles constituent des enduits sur les parois des cavités de roches porphyriques

ou des sphérolithes montrant la croix d'interférence propre à cette structure dans la masse de ces roches ou dans celle de certains schistes siliceux. La densité de la calcédoine varie de 2,5 à 2,6.

Opale. — Silice amorphe, soluble, non seulement dans l'acide fluorhydrique et dans la potasse en fusion, mais aussi dans les dissolutions alcalines bouillantes; rarement transparente, ordinairement translucide. Cassure conchoïdale. Éclat vitreux, un peu résineux dans les variétés communes. Dureté : un peu plus faible que celle du quartz; elle varie de 5 à 6. Densité : 2,2 au maximum.

Cette silice a chimiquement la même composition que le quartz, à cela près qu'elle renferme en général de l'eau, mais dans des proportions qui varient depuis 0 jusqu'à plus de 20 o/o, et dont la plus grande partie n'est pas de l'eau de constitution.

Nous avons trouvé à Bry-sur-Marne (1) une variété de silice très hydratée, qui perd son eau d'elle-même lorsqu'on l'abandonne à l'air. Elle reprend cette eau dans une atmosphère humide.

L'opale proprement dite a une structure gommeuse, *colloïde*. A cet état, elle est généralement inactive sur la lumière polarisée; c'est aussi l'état de la silice gélatineuse, qu'on obtient en décomposant un certain nombre de silicates par les acides (mésotype, etc.).

La silice gélatineuse produite dans les dissolutions de bisilicate de potasse, d'abord soluble dans l'acide chlorhydrique, perd cette solubilité, avant sa dessiccation complète par l'action de la chaleur; elle la perd aussi à la longue, et l'on trouve des variétés d'opale, telle que celle de Bry-sur-Marne, sur lesquelles l'acide chlorhydrique n'est pas sans action. L'acide silicique est, d'ailleurs, un acide éminemment polybasique, capable de s'unir à des proportions d'eau très différentes. Les variétés naturelles appartenant au quartz proprement dit offrent des passages aux variétés d'opale. Sous la forme d'opale colloïde, les variétés les plus pures montrent accidentellement de belles irisations, qui les classent parmi les

(1) *Bull. Soc. géol. de France*, 2e série, t. XVIII, p. 673 (1861).

plus belles pierres de la joaillerie (opales nobles de Hongrie, contenant 10 o/o d'eau), et qui proviennent de fissures entrecroisées où la lumière se décompose en donnant lieu à ce que les physiciens appellent *phénomène des réseaux*. D'autres variétés du Mexique portent le nom d'*opales de feu*. Enfin les plus ordinaires sont mêlées de substances colorantes minérales, telles que des silicates de fer et d'autres oxydes métalliques, ou même de matières organiques (opale rose, de Méhun-sur-Yèvre, Cher).

Quelquefois les variétés les plus hyalines montrent en lumière polarisée parallèle des phénomènes de coloration qui caractérisent un certain nombre de substances à structures sphérolithiques, c'est-à-dire des anneaux colorés circulaires traversés par une croix noire. M. Émile Bertrand a expliqué ces phénomènes dans les calcaires qui ont cette structure, et dans lesquels le phénomène rentrerait dans les lois habituelles, en ce sens qu'il serait dû à l'obliquité des rayons qui traversent les petits sphéroïdes et qui possèdent à l'émergence une différence de phase qu'ils n'auraient pu acquérir dans des lames très minces auxquelles ils seraient restés perpendiculaires ; mais ici les sphérolithes ne paraissent pas appartenir au quartz qui est optiquement uniaxe; ils appartiennent à l'opale, dont le système cristallin est sans doute biaxe. En tout cas, ce phénomène est très net.

Tridymite. — Une variété anhydre, qui doit être rattachée au quartz, est bien définie par sa densité, sa forme et ses caractères optiques. C'est la tridymite de W. von Rath. Ce savant a observé en druses, dans la trachyte de San-Cristobal, près Pachuca, à Mexico, une silice dont la forme différait de celle du quartz, et qu'il a nommée tridymite. Cette matière a été retrouvée plus tard dans le trachyte du Mont-Dore (Auvergne) et du Capucin, au Puy. G. Rose en a constaté l'existence dans plusieurs opales. Les cristaux sont des tables hexagonales, incolores, limpides, groupées tantôt par trois, tantôt par deux, souvent accolées en grand nombre, imbriquées en séries quelquefois étagées les unes sur les autres, en amas avec des contours plus ou moins nets : M.r von Lasaulx

pense que ce sont des prismes biobliques, d'environ 120°, groupés en hexagones réguliers, à la manière des prismes droits d'aragonite ou de wéthérite. Les lames de tridymite sont si minces que les deux rayons issus par double réfraction d'un même incident n'ont pas une différence de phase appréciable. La différence des indices = 0,00053.

En admettant avec vom Rath pour forme primitive un prisme géométriquement hexagonal et pour facette g^1 une face parallèle aux arêtes et inclinée sur la base de 117°39', on observe les angles : pb^3 = 147°32'; $pb^{4/3}$ = 144°56'; $p\ b^6$ = 162°21'; $mh^{4/6}$ = 169°7' (fig. 212). Ordinairement, les cristaux se groupent d'après l'une des deux lois suivantes : 1° parallèlement à la face b^6 (les deux faces appelées p font entre elles un angle de 35°18'); 2° parallèlement à la face $b^{4/3}$, les deux faces p étant inclinées l'une sur l'autre de 69°52'.

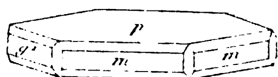
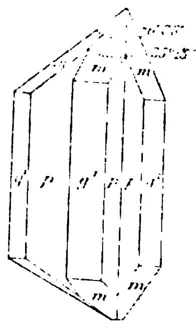


Fig. 212.

Enfin, et particulièrement dans les cristaux du Cerro San Cristobal, deux cristaux extérieurs se maclent suivant b^6 avec un cristal central, l'angle des bases des cristaux extérieurs étant de 70°36' (fig. 213). Les cristaux sont à deux axes optiques, dont le plan est parallèle à h^1 et la bissectrice aiguë verticale positive. A 130°, la tridymite devient uniaxe et positive comme le quartz (mérian).

La tridymite a une densité de 2,27 et un indice de réfraction moyen de 1,432. Elle paraît résulter d'altérations comme la silice que nous avions signalée à Bry-sur-Marne. Elle est souvent abondamment répandue dans les roches trachytiques.


Fig. 213.

Gustave Rose regarde comme de la tridymite la silice qui tournoie dans les perles de borax obtenues dans les essais des silicates au chalumeau. La tridymite a été reproduite en cristaux par

MM. Hautefeuille, Ch. Friedel et Sarrasin, par MM. Fouqué et Michel Lévy, par M. Léon Bourgeois.

Depuis quelques années on a donné différents noms à des variétés d'opale, qui diffèrent les unes des autres par le signe optique de l'allongement de leurs fibres.

Lussatite. — La lussatite de Mallard est une variété fibro-lamellaire qui enveloppe les cristaux de quartz, dans le bitume de Lussat, près de Pont-du-Château (Puy-de-Dôme). On la trouve aussi dans les Cornouailles, dans l'opale des îles Feroë. Sa densité est 2,04, celle de l'opale; son indice de réfraction est aussi celui de l'opale, 1,446; elle contient 7 à 8 o/o d'eau; les fibres de lussatite se distinguent par leur signe optique, qui est positif, des fibres de calcédoine allongées négativement. (V. Mallard, *Bull. Soc. fr. de min.*, t. XIII, p. 63).

Quartzine. — La quartzine de M. Michel-Lévy est une variété à fibres positives, montrant deux axes dont l'angle est 35°; elles sont allongées suivant l'axe de plus faible réfraction. La biréfringence y est supérieure à 6,007. Elle est associée à la calcédoine de Longpont et de Propiary (Haute-Garonne).

Lutécine. — La lutécine de MM. Michel Lévy et Munier-Chalmas a des fibres allongées à 29° de la direction de plus petite élasticité (n_g). On y observe des pyramides dissymétriques à structure très complète autour d'un axe d'apparence hexagonale.

L'arrangement le plus régulier des fibres de calcédoine, dit M. Michel Lévy (*Bull. soc. fr. de min.*, t. XV, 1892, p. 190), donne des sphérolithes à zones concentriques, dont chaque fibre présente une modification d'orientation en forme d'enroulement hélicoïdal à pas constant autour de la direction du plus petit indice de réfraction, n_p. L'arrangement le plus régulier de la quartzine donne du quartz par agrégation ternaire autour de la direction n_g. L'arrangement le plus régulier de la lutécine donne la lutécite par ses agrégats sénaires disposés autour d'un axe situé à 45° de n_g et à 74° de l'allongement des fibres dans le plan des indices moyens et minimum.

Christobalite. — La christobalite de vom Rath est une variété voisine de la tridymite, mais qui se présente en octoèdres réguliers, pseudo-cubiques, formés schématiquement, d'après Mallard, de pyramides quadratiques ayant pour bases les faces du cube. La densité en est 2,34. Cette forme rappellerait les formes également quadratiques de l'acide titanique.

CHAPITRE XXIV

PÉRIDOTS

Péridot [2 (Mg, Fe) $OSiO^2$]. — Contenant environ 50 o/o de magnésie et 10 o/o de protoxyde de fer.

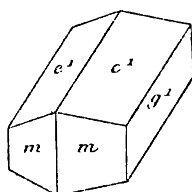


Fig. 214.

Les cristaux dérivent d'un prisme orthorhombique (fig. 214) ; on y observe deux faces *m*, qui font entre elles un angle de 119°13′, coupées par une base perpendiculaire, des faces situées sur les angles *e* par des faces qu'on note e^1 ; $pe^1 = 155°2'$; $e^1e^1 = 87°56'$ sur *p*. On rencontre souvent aussi des faces g^3 et g^1 ($g^3g^3 = 80°54'$ en avant).

Les cristaux se clivent suivant g_1 ; à peine suivant *p*.

Leur densité est de 3,35 ; leur dureté, 6,5.

Couleurs : vert jaunâtre ; vert bouteille clair (P. d'Orient).

La variété si abondante dans les basaltes dont elle est un élément essentiel est grenue et d'un vert plus ou moins foncé. Souvent les variétés très ferrugineuses sont altérées en jaune sale, en brun, en rougeâtre (limbilite, hyalosidérite).

L'indice de réfraction y est assez considérable.

$n_g = 1,697$ $n_m = 1,661$ $n_p = 1,678$ (d'après M. Des Cloizeaux)

$2V = 87°46'$ $\rho < v$.

La bissectrice aiguë positive est normale à p et le plan des axes est g^1.

Caractères thermiques : $a : b : c = 0,9 : 0,75 : 1$; l'axe vertical de l'ellipsoïde isotherme ; l'axe horizontal allant de droite à gauche ; à axe horizontale antéro-postérieur.

Le péridot est infusible au chalumeau et soluble en faisant gelée dans les acides.

Au microscope, à cause de leur forte réfringence, la surface des cristaux taillés en sections minces a un assez fort relief et prend un aspect chagriné, lorsqu'on élève et qu'on abaisse brusquement le condenseur.

Le péridot est très répandu en nodules ou en grains dans les basaltes, dans la lherzolite, etc. Il se rencontre dans les cavités de plusieurs fers météoriques (météorites de Pallas, d'Atakama). On le regarde comme la matière première qui, par des altérations postérieures, a donné naissance à beaucoup de roches serpentineuses, et particulièrement à ces substances tendres si répandues dans la pâte de beaucoup de basaltes.

Lorsque le péridot est très riche en oxyde de fer (30 0/0), souvent passé à l'état de rouille, on l'appelle *hyalosidérite* [(2Fe^{2}O^{3}MgO)SiO^2]; il devient fusible au chalumeau.

Forstérite (2 MgOSiO^2) ou Mg^{2}SiO^4. — C'est un péridot du Vésuve, qui ne contient que de la magnésie. Densité : 3,24; dureté : 7. Plan des axes optiques : h_1. Bissectrice aiguë positive normale à p.

Monticellite [(2 CaO, MgO)SiO^2]. — Sorte de péridot qui ne contient pas de fer non plus, mais qui renferme autant de chaux que de magnésie. Dureté : 6. Densité : 13,2.

Fayalite (2 FeOSiO^2) ou Fe^{2}SiO^4. — Péridot qui ne contient au contraire que de l'oxyde de fer, en nodules noirs dans les roches volcaniques des Açores.

Reproduction. — Ebelmen l'a reproduit en portant à une haute température du silicate de magnésie dissous par fusion dans de l'acide borique. Dans les scories d'affinage, il n'est pas rare de rencontrer des cristaux de péridot et de fayalite.

On peut rapprocher du péridot :

Téphroïte [$2 Mn^2O, SiO^2$ (Mn^2SiO^4)]. — En masses clivables dans trois directions, d'un rouge brun, fusibles en émail noir. Densité : 4,1 ; dureté : 5,5. Plan des axes optiques : h^1 ; bissectrice aiguë négative normale à g_1.

Knébélite [$2 (\frac{1}{2} Fe, \frac{1}{2} Mn)O,SiO^2$]. — En masses brunes, vertes, grises, fusibles. Densité : 3,21. Dureté : 5,5. Plan des axes optiques p ; bissectrice aiguë négative normale à g^1.

Gadolinite (dédiée à Gadolin) [2 (Y, Ca, La, Fe, Gl)O,SiO^2]. — Formes clinorhombiques.

$$mm = 115° \text{ à } 116° ; \quad pe^1 = 125°38' \quad ph^1 = 90°32'.$$

Souvent des faces $b^{1/2}$ hémièdres. Plan des axes optiques : g^1. Bissectrice aiguë positive verticale à 4° près.

Certaines variétés contenant 10 o/o de glucine agissent sur la lumière polarisée ; d'autres, ne contenant pas de glucine, d'un vert bouteille, sont inactives et ont une structure gommeuse.

Au chalumeau, ces matières se gonflent ou se fendillent, mais ne fondent pas.

Elles font, comme les péridots de toutes sortes, gelée dans les acides.

Humites. — Silicates de magnésie contenant du fluorure de magnésium. Les formes sont isomorphes de celles du péridot, mais hémiédriques. Elles offrent des mâcles complexes. Densité : 3,06 à 3,23. Dureté : 6,5. Plan des axes optiques : p. Bissectrice aiguë positive normale à h^1. En général, l'humite se présente en grains d'un jaune d'or.

On distingue sous le nom de *clinohumite* et de *chondrodite* celles de ces matières où le plan des axes s'abaisse d'avant en arrière de 10° à 30° au-dessous de p.

Willémite ($2ZnOSiO^2$). — Rhomboédrique. Densité : 3,9 à 4,2. Dureté : 5,5. Axe optique positif. $pp = 116°1'$.

Dans la *troostite*, qui a la même composition et les mêmes

formes, il y a trois directions de clivage, parallèles au prisme e^2, et l'ellipsoïde isotherme a son grand axe parallèle à l'axe optique.

Wollastonite ($CaOSiO^4$) (une seule base). — Les formes cristallines présentent toutes un seul plan de symétrie et dérivent d'un même prisme clinorhombique. On prend, en France, pour prisme primitif celui formé par deux faces qu'on appelle *m* et qui font entre elles un angle de 95°35'. Une face de principal clivage fait avec l'arête *mm* un angle de 110°12'; on la prend pour base *p*; les cristaux sont allongés suivant l'axe de la zone ph^1 ; on y observe sur les angles latéraux des faces qu'on choisit pour déterminer les unités de dimension de la diagonale horizontale et de la hauteur et qu'on appelle e^1; $pe^1 = 133°43'$.

Les cristaux portent souvent aussi des faces $o^{1/2}$, $a^{1/2}$.

$$po^{1/2} = 129°42'; \qquad pa^{1/2} = 95°23' \text{ adjacent.}$$

Les directions de clivage sont assez nombreuses et toutes dans la zone d'allongement : p, $o_{1/2}$, h^1, $a^{1/2}$.

L'éclat est perlé sur plusieurs de ces faces; la densité est d'environ 2,85, la dureté d'environ 5. Au chalumeau, la fusion est difficile. La wollastonite fait gelée dans l'acide chlorhydrique.

Le plan des axes optiques est g^1. La bissectrice aiguë négative fait 33°2' avec l'axe vertical; la biréfringence est faible.

Le plus grand axe de l'ellipsoïde isotherme est parallèle à l'axe de la zone d'allongement ph^1.

La wollastonite se forme dans des tubes de verre remplis d'eau, scellés et chauffés à 150° ou 160°; le verre devient fibreux et donne des cristaux de wollastonite. Elle se produit aussi dans les scories des hauts fourneaux, blanche comme du coton.

CHAPITRE XXV

GROUPE DES PYROXÈNES ET AMPHIBOLES

Les espèces minérales rapportées à ces groupes sont composées théoriquement de magnésie, de protoxyde de fer, de chaux et de silice. Les proportions d'atomes d'oxygène contenues dans la silice et dans les protoxydes sont au moins de 2 à 1 ; les compositions chimiques des amphiboles et des pyroxènes sont tellement voisines que plusieurs chimistes éminents attribuent aux deux groupes la formule $MOSiO^2$ ($MSiO^3$), où M = Ca, Mg, Fe, tandis que d'autres savants qui ont dirigé leurs travaux dans le sens de la recherche des proportions relatives de protoxyde et de silice donnent aux pyroxènes seuls la composition $MOSiO^2$, en admettant pour les amphiboles la composition $8MO9SiO^2$. En tout cas, lors même qu'on confondrait les compositions des espèces de ces deux groupes au point de vue chimique, on reste encore forcé de les distinguer à cause de tous leurs caractères physiques.

Les cristaux de pyroxène se clivent assez nettement suivant deux directions planes qui font entre elles des angles de 87° et 93°, la bisilicate ne contenant que peu ou pas d'alumine.

Ils comprennent des corps à composition $MOSiO^2$; M peut être du calcium, du magnésium, du fer, du manganèse. Quelques-uns renferment quelques centièmes d'alumine. L'un d'entre eux ne contient que du calcium et a pour formule $CaOSiO^2$; c'est la wollastonite, qui se distingue des autres par son faciès et ses clivages.

Les autres présentent en général deux directions planes de clivage, inclinées l'une sur l'autre, tantôt de 87° (pyroxènes), tantôt de 124° environ (amphiboles). Aussi distingue-t-on deux groupes très différents, celui des pyroxènes et celui des amphiboles. Chacune de ces familles comprend des espèces où les axes des ellipsoïdes optiques et thermiques sont parallèles et perpendicu-

laires à l'axe de la zone *m*, *m* formée par les plans de clivage, qu'on prend pour directions des faces du prisme primitif, c'est-à-dire orthorhombique, et d'autres que leurs formes cristallines et les inclinaisons de leurs axes optiques et thermiques sur les arêtes *m*, *m* classent parmi les matières à symétrie monoclinique.

Orthorhombiques. — Ce sont des bisilicates de magnésie et de fer à formule (Mg, Fe)OSiO².

Enstatite (à peine 5 ou 6 o/o de fer). — Elle se clive suivant les faces d'un prisme dont les angles sont d'environ 87° et 93°. Si on place devant soi l'angle obtus de 93°, on voit que le plan des axes optiques est le plan bissecteur de cet angle, et que sur les sections minces parallèles à ce plan bissecteur les extinctions se font parallèlement et perpendiculairement à la section droite. Le plan bissecteur dont il vient d'être question est par conséquent noté g^1 (010); la section droite du prisme est notée p (001). Le plan des axes optiques est g^1; la bissectrice de l'angle aigu des axes, qui est d'environ 60°, est perpendiculaire à p; elle est positive; c'est donc la direction n_g (de plus petite élasticité). L'ellipsoïde thermique a son plus grand axe vertical allongé suivant l'arête *mm*, direction des fibres.

L'enstatite est très difficilement fusible au chalumeau et seulement sur les bords très minces; elle a pour densité 3,9, pour dureté 5, un éclat perlé, un aspect fibreux, déchiré; elle est d'un blanc grisâtre, jaunâtre ou verdâtre; la poussière en est à peine grisâtre.

Dans l'enstatite, le plus grand axe de l'ellipsoïde isotherme est vertical.

Bronzite (même formule, mais de 6 à 13 ou 14 o/o de fer). — L'éclat est un peu plus vif, plus adamantin, quelquefois presque métallique, bronzé sur la face du clivage parfait, qui est ici le plan g^1. La couleur varie du jaune au vert olive. La bissectrice aiguë reste normale à p et positive, tant que la proportion d'oxyde de fer ne dépasse pas 10 o/o. Alors l'angle $2V = 90°$.

Au delà de 10 o/o de fer, la bissectrice aiguë devient normale à

h^1 et négative (n_p), l'angle des axes autour de n_g étant devenu $> 90°$.

a, *b*, *c* étant les axes de l'ellipsoïde, parallèles, le premier à la petite, le second à la grande diagonale de la base, le troisième à l'axe vertical, on a :

$$a : b : c = 0,9 : 0,87 : 1.$$

Hypersthène. — La proportion de fer y dépasse 13 ou 14 o/o. L'hypersthène de Labrador se distingue extérieurement par la couleur vive, d'un brun noirâtre, à reflet cuivré, dont brille sa face g^1, plan du clivage facile. A travers une lame mince de cette direction, l'on observe à la loupe dicroscopique une image d'un rouge hyacinthe, l'autre d'un bleu verdâtre. Une plaque parallèle à h^1, plan d'un clivage plus difficile, montre sous le microscope en lumière convergente les anneaux colorés caractéristiques de la symétrie orthorhombique; la bissectrice aiguë est n_p.

La biréfringence $n_g - n_p = 0,013$, d'après MM. Michel Lévy et Lacroix.

L'hypersthène fond en un verre opaque d'un vert gris; elle a 3,39 pour densité 5 à 6 pour dureté.

Au microscope, la bronzite diffère peu de l'enstatite. Les deux matières sont peu dichroïques en lames minces. L'hypersthène conserve au contraire un polychroïsme très net; il est vert suivant n_g, rougeâtre suivant n_p. L'hypersthène brun ou d'un noir de poix montre à un fort grossissement des fentes parallèles au clivage facile et à deux clivages plus difficiles qui se coupent sous l'angle de 87° ou de son complément 93°. A un fort grossissement aussi, on y observe une foule de lamelles interposées. Les grains paraissent appartenir à la magnétite; irrégulièrement disséminés, ils communiquent à certaines parties de la masse leur action sur l'aiguille aimantée. Les lamelles brunes ou jaunâtres, ou même incolores, sont plus uniformément intercalées entre les plans de clivage. On sait que l'acide titanique entre pour une certaine pro-

portion dans la composition chimique de ces lamelles, que les uns pensent être du fer oligiste, les autres de la bronzite, mais dont on ne connaît pas encore la vraie nature.

a, *b*, *c* étant les axes de l'ellipsoïde isotherme parallèles aux mêmes directions que dans la bronzite :

$$a : b : c = 0,8 : 0,71 : 1.$$

Diaclasite. — Bronzite un peu hydratée, jaunâtre, ou gris verdâtre. La dureté n'est plus que d'environ 3,5; la fusion y devient assez facile en émail vert brunâtre. L'action des acides est nulle. Le plan des axes optiques est parallèle à h^1.

Comparaison des amphiboles et des pyroxènes clinorhombiques. — Bisilicates ayant pour bases la magnésie, la chaux, le protoxyde de fer, à peu près inattaquables par les acides, fusibles au chalumeau. Les formes cristallines des pyroxènes dérivent d'un prisme dont les faces font entre elles un angle de 87° environ, comme celles de l'enstatite et de l'hypersthène; mais les modifications de ces cristaux et leurs propriétés optiques les rattachent au système clinorhombique.

Dans celles-ci, en effet, les facettes sont distribuées symétriquement, à droite et à gauche du plan bissecteur des faces *m* du prisme de clivage. Dans les pyroxènes, on prend pour base un plan perpendiculaire au précédent, qui joue souvent dans leurs cristaux le rôle de plan de séparation, quelquefois, mais rarement, celui de plan de clivage; la base notée *p* fait avec l'arête *mm* antérieure un angle de 106°; souvent une face parallèle aux arêtes *mm* et perpendiculaire aussi au plan de symétrie, qui a par conséquent pour notation h^1, permet de mesurer directement cet angle.

Dans les amphiboles, l'angle des faces de clivage *m*, comme il a été dit plus haut, de 124° et les facettes cristallines sont aussi distribuées symétriquement des deux côtés du plan bissecteur de l'angle de ces plans. Une face qui existe fréquemment et qui est perpendiculaire à ce plan de symétrie fait avec l'arête *mm* un angle d'environ 105°; on l'a prise pour base *p*. La facette h^1 éga-

lement perpendiculaire au plan de symétrie et parallèle à la direction *mm* n'existe pas souvent.

Dans les deux familles, ce plan h^1 est le plan de groupement le plus ordinaire, deux cristaux s'accolant suivant ce plan commun avec hémitropie.

Les caractères optiques dans les pyroxènes et les amphiboles :

En lumière parallèle :

Soit le plan de symétrie (g^1), qui est le plan des axes optiques g^1.

La bissectrice aiguë est l'axe de plus petite élasticité n_g; elle fait avec l'arête g^1h^1 un angle de (— 38°) dans le diopside (en comptant à partir de h^1g^1 en sens inverse des aiguilles d'une montre). Cet angle de n_g sur l'arête h^1g^1 ou une droite parallèle atteint 45° dans l'augite, où la proportion de fer devient plus considérable.

Dans les hornblendes, la bissectrice aiguë est n_p; l'obtuse (n_g) fait un angle beaucoup plus petit avec l'arête h^1g^1; il est de 15° à 18°; il varie de 0° à 10° dans les hornblendes des basaltes; il s'élève à près de 25° dans les autres hornblendes.

En lumière convergente :

Dans les diopsides, $2V = 59°$.

Dans les trémolites $2V = 28°16'$, d'après M. Des Cloizeaux, (pour le jaune). Dans les trémolites et les diopsides, la dispersion est inclinée.

Polychroïsme. — En lames minces, l'augite est verte, brune, grise ou jaunâtre, quelquefois de couleurs différentes en des points très voisins les uns des autres. Elle est plutôt verte dans les roches où elle est associée à l'amphigène, brune dans un grand nombre de basaltes; certaines variétés titanifères des basaltes d'Auvergne sont d'un beau violet; en sections très minces, elle devient presque incolore ; en lumière polarisée, elle prend des colorations vives, qui varient avec l'épaisseur des grains, souvent très inégale, mais qui changent peu, lorsqu'on fait tourner la plaque sur elle-même, après avoir enlevé l'un des nicols. Les variétés d'Auvergne

sont quelquefois assez dichroïques entre les deux nicols croisés.

Dans les amphiboles, les variétés colorées sont polychroïques ; n_g est vert, n_p est jaune.

Les caractères thermiques dans les pyroxènes et amphiboles :

Soit un cristal de diopside à faces p (001) m 100 g^1 (010) $b^{1/2}$ (111).

Sur p, la courbe peu excentrique a son grand axe parallèle à pg^1, au plan de symétrie g^1.

Sur g_1 (010), la courbe a son grand axe perpendiculaire à la trace de p (001) ou à pg^1.

La figure 215 représente un cristal d'augite, qui a une forme analogue et sur la base p l'ellipse isotherme.

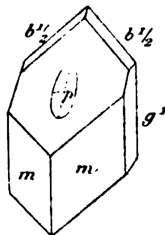


Fig. 215.

La figure 216 représente un cristal de hornblende portant sur la base p (001) l'ellipse isotherme dont le grand axe se dirige de droite à gauche, perpendiculairement à g^1 ; sur la face g^1 l'ellipse isotherme à grand axe peu éloigné de l'arête verticale, et sur les faces mm des ellipses isothermes à grand axe sensiblement vertical.

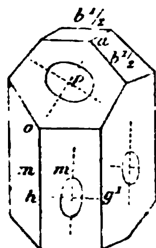


Fig. 216.

ESPÈCES LES PLUS IMPORTANTES DE PYROXÈNES

Diopside [(Ca,Mg) $OSiO^2$] ou (Ca,Mg,Fe)SiO^3. — Incolore, blanc, vertpâle, vert olive, vert grisâtre.

Les formes dominantes montrent p, $b^{1/2}$, $d^{1/2}$, g^1, h^1, m. $d^{1/2}d^{1/2}$ = 131°30′ en avant ; $b^{1/2}b^{1/2}$ = 120°48′ en arrière ; ph^1 = 105°49′.

Les clivages m sont assez nets ; certaines variétés, comme la mussite d'Ala, offrent des plans de séparation suivant la base qui n'influent pas sur l'orientation des lignes isothermes, et en même temps des interpositions entre les plans de séparation ; dans une seule variété nous avons observé un véritable clivage basique avec séparation en feuillets très minces, et, sur la face g^1 de ce cristal, une ellipse thermique allongée suivant p.

L'allongement des faces est parallèle à la direction h^1g^1 ; la bissectrice n_g fait un angle de 38° sur g^1 avec cette direction. $2V = 59°$; $n_g - n_p = 0{,}03$ (M.-L.).

Diallage. — Une variété a reçu un nom spécial, à cause de son abondance et de son clivage différent de celui des autres diopsides; c'est la *diallage* [(Mg, Ca, Fe)OSiO²].

Le plan de clivage facile à éclat très vif, souvent nacré et quelquefois métalloïde, a une certaine analogie avec celui des micas.

La diallage est jaune, d'un gris jaunâtre ou verdâtre, ou brune, faiblement translucide sur les bords ; elle a pour dureté 4, pour densité 3,25. Elle n'est pas attaquable par les acides et fond difficilement au chalumeau. Les deux axes optiques sont dans le plan g^1 ; une lamelle déchirée de diallage parallèle au clivage montre sous le microscope d'Amici un seul système d'anneaux colorés ; une lame d'hypersthène laisse apercevoir ensemble les deux systèmes d'anneaux colorés, si elle est prise parallèlement au clivage de même direction, qui est le clivage plus difficile. C'est à h^1 qu'est parallèle sur la section droite des diallages le plus grand axe de l'ellipsoïde isotherme et à g^1 dans l'hypersthène. La diallage montre sur h^1 au microscope des lamelles à reflets bronzés, et dans les sections minces, pour des directions convenables, des stries fines, qui ne sont que les traces de deux clivages difficiles suivant les faces m et d'un quatrième, presque indistinct suivant les faces g^1. Au travers des faces g^1 on voit interposées entre les stries des inclusions de magnétite, d'apatite, d'olivine, etc. Les grains de diallage répandus dans les roches n'ont généralement pas de formes régulières; ils semblent remplir les vides laissés par les minéraux qui les accompagnent. On a pu cependant y apercevoir un groupement parallèle à la face p ; quelquefois la face h^1 d'un cristal de diallage s'accole à la face g^1 d'un cristal de bronzite. En lumière polarisée, ils se colorent vivement et s'éteignent en général dans des directions obliques aux stries. Sur la section g^1, les lignes d'extinction font des angles de 39° et de 51° avec les stries. D'après MM. Michel Lévy et Lacroix, $n_g - n_p = 0{,}024$; $2V = 34°$.

Aux diopsides se rattachent les variétés appelées *sahlite* [(CaO, FeO, MgO) SiO^2], d'un vert plus franc, tendant au vert d'herbe, à densité 3,2 à 3,5; l'*hédenbergïte* [(Ca, Fe)$OSiO^2$], noire, ou d'un vert sombre, fusible en verre noir magnétique, contenant de 18 à 52 o/o d'oxyde de fer et de 20 à 0 de chaux, dont la densité s'élève, quand elle est pure, à 3,467.

Augite. — C'est un pyroxène contenant toujours de l'alumine; silice, 44,4; alumine, 7,83; protoxyde de fer, 11,8; protoxyde de manganèse, 0,11; magnésie, 10,15; chaux, 22,6; soude, 2,13; potasse, 0,65; eau, 1,03 (A. du Kaiserstuhe). Les faces dominantes sont $b^{1/2}$, m, h^1, g^1 (fig. 217). Les cristaux sont souvent maclés, ayant h^1 pour plan de jonction et la normale à h^1 pour axe d'hémitropie.

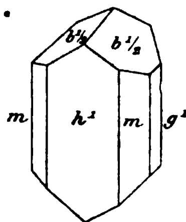


Fig. 217.

Les cristaux sont noirs, bruns, d'un vert foncé, à poussière incolore ou un peu jaunâtre, verdâtre.

La dureté est 6. L'augite fond en verre noir, plus difficilement que la hornblende.

L'angle des axes $2V = 61°$ à $68°$; la bissectrice aiguë positive fait de $-45°5'$ à $-54°$ avec l'arête g^1h^1; le plan des axes est h^1; $n_g - n_p = 0,022$ (M. L. et L.).

Au microscope, dans les plaques minces, les sections des cristaux offrent des contours à 6 ou 8 côtés. On observe aussi un groupement de deux demi-cristaux renversés l'un par rapport à l'autre suivant h^1, avec angle rentrant. Quelquefois, les bords seuls du cristal sont nets; l'intérieur renferme des lamelles entassées confusément. Vue par transparence, l'augite en lames minces est brune, verte, grise ou jaunâtre; quelquefois elle montre plusieurs de ces différentes colorations sur un espace assez restreint. Elle est plutôt verte dans les roches où elle est associée à l'amphigène, brune dans un grand nombre de basaltes; en sections très minces, elle devient presque incolore; dans la lumière polarisée, elle prend des colorations vives, qui varient avec

l'épaisseur des grains souvent très inégale, mais qui changent peu, lorsqu'on fait tourner la plaque sur elle-même entre les nicols croisés. Cependant l'augite de plusieurs basaltes d'Auvergne est assez fortement dichroïque. Dans plusieurs roches à néphéline et dans plusieurs gabbros, l'augite, la diallage et la hornblende sont entremêlées. On reconnaît ordinairement sur les cristaux ou les grains d'augite en lames minces leurs clivages par des lignes qui se coupent sous des angles de 87°; mais on n'y remarque plus les stries fines de la diallage. Quelquefois, les cristaux d'augite, bien vitreux, ne laissent plus voir ces sortes de fentes rectilignes qui sont dues au clivage ; on n'aperçoit que des contours plus ou moins ondulés ; on croirait avoir affaire à de l'olivine; mais, aussitôt qu'on peut orienter une des lignes du contour, on résout la difficulté au moyen des lignes d'extinction qui peuvent servir à distinguer l'augite de l'olivine, aussi bien que de la hornblende.

Les pyroxènes accompagnent la magnétite dans les calcaires et les dolomies cristallisés, subordonnés aux granites et aux schistes métamorphiques, les grenats et les clinochlores dans les schistes. L'augite est un élément essentiel des basaltes, des labradorites, des laves proprement dites, de leurs cortèges de tufs et de beaucoup de porphyres.

De Senarmont et Daubrée ont reproduit le diopside au moyen d'eau chauffée dans un tube scellé en même temps que la wollastonite.

On peut rapprocher des pyroxènes :

1° **Triphane** ou **Spodumène** $(Li^2, Na^2)OAl^2O^34SiO^2$ ou $Li^2,Al^2(SiO^3)^4$, dont les formes $mm = 87°$, $b^{1/2}b^{1/2}$ 16°30′ adjacent, sont voisines de celles des pyroxènes, avec des clivages h^1 facile, m moins facile, substance translucide, quelquefois transparente, verdâtre ou jaunâtre, parfois d'un beau vert émeraude (variété chromifère, appelée hiddénite) ; le plan des axes est g^1 ; l'angle $2V = 57°$; la bissectrice aiguë positive fait un angle de $-26°$ avec l'arête mm sur g^1 ; les cristaux se maclent suivant h^1 ; leur densité est d'environ 3,15 ; leur dureté de 6,5 à 7.

2° **Jadéite** ($Na^2OAl^2O^34SiO^2$, ou $Na^2Al^2(SiO^3)^4$ dont le prisme se clive suivant ses faces *m* et a pour plan bissecteur de son angle aigu, qui est de 85°20', le plan de symétrie g^1. Couleurs : vert, vert d'émeraude, vert bleuâtre, blanc verdâtre; translucide ou presque opaque; cassure esquileuse. La dureté est d'environ 7 ; la densité, de 3,33 à 3,35 ; la fusibilité très facile en verre transparent. Les propriétés optiques sont très voisines de celles des pyroxènes; cette matière se présente en fibres entrecroisées, allongées suivant l'arête g^1h^1.

3° **Achmite** (œgyrine). — Silicate du même type que les précédents, mais assez riches en oxydes de fer, dont la densité est de 3,4 à 3,5, la dureté de 3,5; on y peut mesurer $mm = 86°56'$; $e^1g^1 = 120°15'$; $e^1e^1 = 119°80'$ sur *p* (Mallard). Le prisme se clive assez nettement suivant *m*, plus difficilement suivant h^1 et g^1; l'angle des axes est de 63°5'; le plan des axes g^1; la bissectrice aiguë positive est ici presque parallèle à l'arête h^1g^1. L'œgyrine se reconnaît facilement au microscope par sa grande réfringence.

A la suite des pyroxènes on classe maintenant des silicates dont les formes deviennent biobliques au tricliniques. Le plan bissecteur de l'angle aigu des faces du prisme qui est très voisin de celui des pyroxènes, et qui deviennent ici *m*, *t*, n'est plus de symétrie. Il n'y a plus isomorphisme que pour les zones ph^1 et h^1g^1.

Babingtonite ($9(Ca, Fe, Mn)OAl^2O^312SiO^2$) ou $(Ca,Fe,Mn)^9 Al^2 (SiO^3)^{12}$. — $mt = 87°24'$; $pm = 92°32'$; $pt = 122°12'$; $ph^1 = 107°37'$ en avant.

Le prisme se clive suivant *m* et moins facilement suivant *t*.

La densité est de 3,4; la dureté, de 6; la fusibilité assez facile. Le plan des axes est voisin de *t*. Les cristaux sont polychroïques; suivant n_g, brun ; suivant n_p, vert; suivant n_m, violacé.

Rhodonite ($MnOSiO^2$) ou $MnSiO^3$. — Ici $mt = 87°21'$ et ph^1 107°24' : $pg^1 = 101°18'$; $g^1h^1 = 85°54'$. La rhodonite est isomorphe du diopside dans la zone ph^1. Le prisme se clive suivant *m* et *t*, moins facilement suivant *p*; l'angle des axes optiques

$2V = 76°$; la bissectrice aiguë négative est à peu près la bissectrice des normales à *m* et à *p*, dans le quadrant antéro-inférieur de droite. Dichroïsme à travers *p* ; rose rouge et vert bleuâtre.

La rhodonite a pour densité 3,4 à 3,7, pour densité 6. Elle est en général d'un beau rose; quelques variétés sont plus pâles. D'après MM. Michel Lévy et Lacroix, $n_g - n_p = 0{,}01$ à $0{,}011$.

Les différentes variétés ne sont pas également fusibles.

AMPHIBOLES ; SANS ALUMINE

Trémolite $(Ca,Mg)SiO^3$ ou $CaOSiO^2 + 3\ MgOSiO^2$. — Silice, 57,69; magnésie, 28,85; chaux, 13,46; quelquefois on y trouve une très petite quantité de fer.

$$mm = 124°15 \quad ph' \ 104°58 \quad pd^{1/2} \ 152°36 \quad pb^{1/2} \ 145°35.$$

Clivages faciles *m*. Hémitropie avec axe de rotation normal à h^1.

Dureté : environ 5; densité : 2,9 à 3.

Incolore, blanche, vert pomme, grise en masse. Texture ordinairement fibreuse; éclat soyeux.

Au chalumeau, assez facilement fusible en verre incolore, translucide ; inattaquable aux acides.

Variétés : *Asbeste*, en fibres soyeuses; *liège*, *cuir*, *carton* de montagne, résultant de la désagrégation des trémolites ou des actinotes et contenant souvent un peu d'eau; *néphrite*, *jade de la Chine*, à éclat gras, à cassure un peu esquilleuse, d'un blanc verdâtre; on retrouve la néphrite en Sibérie; les néphrites d'un vert franc appartiennent à l'actinote.

Dans la trémolite, le plan des axes optiques est g^1 ; la bissectrice aiguë est négative; l'obtuse positive fait — 15° avec l'arête h^1g^1 ; l'allongement des cristaux parallèle à *mm* est positif.

Sur g^1, le grand axe de la courbe isotherme fait un angle de + 5° ou 5° en avant avec l'arête h^1g^1 ; le rapport des axes est 0,6. Sur *p*, le plus grand axe parallèle à la diagonale horizontale est 0,754

en prenant l'axe le plus voisin de l'axe cristallographique vertical pour unité.

Actinote. — De 6 à 12 o/o de protoxyde de fer. Masses rayonnées, vertes, fibreuses; densité, 3,04; mêmes caractères que pour la trémolite.

Amphiboles alumineuses (3 à 10 o/o d'alumine et toujours des oxydes de fer).

Hornblende. — Noire ou d'un vert foncé, brunâtre; ordinairement elle est fibreuse et ressemble à du charbon de bois. Elle est fusible en émail noir et cède du fer aux acides, quelquefois avec un peu d'effervescence.

Dureté, environ 5,5. Densité, 3,15 à 3,33.

Le plan des axes optiques est g^1; bissectrice aiguë négative (n_p); l'obtuse (n_g) positive fait un angle de — 0° à 18° avec l'arête h^1g^1. L'allongement est positif.

Au microscope, les amphiboles se montrent en aiguilles minces, rarement en paillettes, souvent infléchies, brisées, sillonnées de fentes qui se coupent sous des angles de 124° environ sur les sections droites du prisme primitif et qui sont les traces des clivages sur ces plans. On observe aussi des plans de séparation parallèles à e^1 (101).

Lorsqu'on place une section mince sous le microscope à lumière parallèle, en retirant le nicol supérieur, et en tournant la platine sur elle-même, on voit que l'extinction maximum a lieu suivant n_g, c'est-à-dire suivant la hauteur ou allongement des fibres, ce qui distingue l'amphibole de la tourmaline où cette extinction se produit transversalement. Les axes de conductibilité thermique ont la même direction que dans la trémolite et l'on a : $a : b : c = 0,7 : 0,8 : 1$. b est l'axe de symétrie binaire et c l'axe situé à 5° du vertical.

Pargasite. — C'est une hornblende où la bissectrice aiguë positive fait 18° avec l'arête h^1g^1.

INDICES DE RÉFRACTION ET PRINCIPAUX CARACTÈRES OPTIQUES DES AMPHIBOLES :

	n_p	n_m	n_g	angle de n_g avec h^1g^1	angle des axes 2 V	
Trémolite du Saint-Gothard	1,607	1,623	1,635	—16°	81°22'	
Actinote du Zillerthal	1,611	1,627	1,636	—15°	»	
Hornblende de Krageroë	1,63	1,642	1,653	»	84°	Michel
Hornblende de Bohême	1,68	1,725	1,752	0° à —10°	80°	Lévy et
Pargasite de Pargas	»	n_m = 1,64	»	—18°	58° à 60°	Lacroix
Glaucophane île de Groix	»	»	»	—40°	44°	

$$n_g - n_p = 0,022 \quad \text{et} \quad \rho > v.$$

Ouralite. — C'est une agglomération de petits cristaux de pyroxène, dont l'ensemble a la forme du pyroxène offrant le biseau $b^{1/2}$, $b^{1/2}$.

Arfvedsonite. — Silicate d'alumine, de fer, chaux et soude, qui a les formes de l'amphibole. Le prisme a un angle de 123°15 et se clive suivant ses faces; la densité est de 3,3 à 6 ; la dureté de 6.

La bissectrice aiguë, positive, fait un angle de 0° à 12° avec l'arête h^1g^1.

L'axe de plus petite élasticité n_g est d'un brun rouge; n_p d'un brun pâle, n_m d'un jaune pâle.

La densité varie de 3,3 à 3,6 et la dureté est de 6.

Glaucophane. — Silicate d'alumine, de fer, de magnésie et de soude, à formes d'actinote. $mm = 124°50'$; $m\,b^{1/2} = 124°48'$.

La glaucophane, de couleur bleuâtre, se clive suivant les faces m. La bissectrice aiguë, négative, fait un angle de — 85°7' avec h^1g^1; l'axe de plus petite élasticité n_g est bleu ; n_p est d'un jaune pâle ; n_m violet. L'allongement est positif comme dans l'actinote. La densité en est de 3,1, la dureté de 6 à 6,5 ; elle est facilement fusible.

Crocidolite. — Matière fibreuse, bleue, à densité de 3,25, à

dureté égale à 4; elle se distingue de la glaucophane par son allongement qui est négatif; elle est très polychroïque : n_g est bleu; n_m violet; n_p jaune pâle; l'angle d'extinction est de 20°.

Riebeckite. — D'un bleu plus foncé que la précédente; l'angle d'extinction n'est que de 5°; polychroïsme aussi intense.

Caractères distinctifs des minéraux qui ont de l'analogie avec les amphiboles (au microscope) — Au microscope polarisant en lumière parallèle, on distingue le *péridot* ou *olivine* par ses agrégats grenus, dont les grains ont des contours irréguliers, anguleux, souvent arrondis, par ses sections souvent hexagonales, à ses fentes très différentes de netteté, parallèles l'une au clivage facile g', l'autre au clivage difficile p, rectangulaires entre elles, à son relief considérable, à ses couleurs éclatantes.

La diallage, ordinairement de couleur claire, offre des colorations vives, jaunes, rouges, moins limpides que celles de l'épidote, moins éclatantes que celles de l'olivine, un dichroïsme faible et des fentes nettes et souvent serrées parallèles au clivage h^1.

L'augite a des couleurs pâles; ses fentes sont presque rectangulaires sur les sections droites ou voisines de cette section; le dichroïsme y fait ordinairement défaut; les extinctions s'élèvent jusqu'à près de 40°; les cristaux sont souvent rongés sur les bords, quelquefois déchiquetés, brisés, froissés, contournés, tordus; le relief y est assez considérable; les cristaux nets y sont caractérisés par le biseau $b^{1/2}\, b^{1/2}$.

L'achmite est très peu transparente. L'augite devient souvent microlithique dans les roches d'épanchement : elle est ordinairement verte ou brune, rarement violette ou rouge.

L'amphibole offre des fentes, également nettes, parallèles aux clivages faciles, dont l'angle peut atteindre 125°, un dichroïsme remarquable dans les variétés de couleur un peu foncée. Les extinctions s'éloignent de la longueur des prismes de 20° au plus.

L'hypersthène est aussi dichroïque; les extinctions y sont parallèles aux fibres et à la longueur des cristaux; les fentes de clivage y sont rectangulaires sur la section droite.

La tourmaline est très dichroïque et l'extinction y est inverse de celle de la hornblende.

ESPÈCES VOISINES DES AMPHIBOLES

Comme la famille des pyroxènes, celle des amphiboles peut comprendre des espèces dont la symétrie est orthorhombique et d'autres cristallisées dans le système triclinique.

AMPHIBOLES ORTHORHOMBIQUES

Anthophyllite. $MgSiO^3$. — Contient souvent de petites proportions de fer. Elle se montre en aiguilles ou en cristaux clivables suivant deux directions planes qui font entre elles un angle de 124°. On n'y rencontre guère que 2 à 3 o/o d'alumine.

Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 et la bissectrice aiguë positive perpendiculaire à h^1 ; $\rho < v$.

Gédrite. — Elle se distingue de l'anthophyllite par sa teneur en alumine qui s'élève à 10 o/o et par le signe de sa bissectrice aiguë qui est négative. L'allongement dans les deux matières est parallèle comme dans les amphiboles à l'arête $h'g'$.

On peut facilement reconnaître l'alumine dans la gédrite au moyen du procédé Behrens.

CHAPITRE XXVI

SILICATES HYDRATÉS DE MAGNÉSIE

Serpentine. $3(Mg,Fe)O_2\ SiO^2\ 2H^2O = H^4\ (Mg,Fe)^3\ Si^2O^9$. — Matières verdâtres, d'un blanc verdâtre, jaunâtres, moins souvent rouges, ordinairement presque opaques, parfois presque transparentes, à cassure esquilleuse, à éclat terne ou cireux et parfois assez brillant, à structure schisteuse, ou feuilletée, ou fibreuse, ou

compacte. Leur dureté est faible, très voisine de celle du calcaire; leur densité varie de 2,45 à 2,6. Dans le tube fermé elles perdent de l'eau et noircissent; au chalumeau elles blanchissent et fondent difficilement en esquilles très minces. Elles sont décomposables par l'acide chlorhydrique; l'acide sulfurique leur enlève leurs bases, pendant que leur silice reste intacte, comme une sorte de squelette de la masse primitive. Elles remplacent beaucoup de cristaux, amphibole, calcaire, quartz, dont elles gardent la forme; elles se présentent souvent aussi sous des formes cristallines qui appartiennent au péridot. Ces dernières pseudo-morphoses sont d'autant plus intéressantes qu'on s'accorde à regarder la serpentine comme un produit d'altération de silicates magnésiens anhydres, particulièrement de péridot, dont ses masses quelquefois uniformes contiennent souvent des fragments, et sur ceux-ci on observe tous les passages du péridot à la serpentine.

On trouve quelquefois dans une même formation de serpentine des variétés fibreuses, lamellaires ou compactes.

Dans les premières variétés, les fibres peuvent être parallèles (*chrysotiles*, souvent flexibles) ou plus ou moins divergentes (*métaxites*), ou même radiées (*picrolithes*). Brauns y a observé deux directions planes de clivage qui se coupent sous un angle de 130°. La double réfraction est d'environ 0,011 d'après MM. Michel Lévy et Lacroix. L'allongement a lieu suivant n_g qui est la bissectrice aiguë; l'angle 2E (angle apparent des axes optiques ne dépasse pas 35°. M. Lacroix réunit toutes ces variétés sous le nom de chrysotiles.

D'après nos observations, le grand axe de l'ellipsoïde isotherme est parallèle aux fibres, à la direction optique n^g et le rapport de cet axe au plus petit est d'environ 1,6.

La dureté varie de 2 à 3 et la densité inférieure à 4,5 en général.

Dans les variétés lamellaires (*antigorites*), les masses se clivent plus ou moins facilement suivant une direction plane, au travers de laquelle on aperçoit deux systèmes d'anneaux colorés symétri-

ques entre des nicols croisés. La bissectrice aiguë est ici négative et l'angle des axes varie de o à 110°. La biréfringence ne dépasse pas 0,009. L'allongement ou direction des lames reste parallèle à n_g. Nous avons observé que le plus grand axe de l'ellipsoïde isotherme est aussi parallèle au plan de clivage et à la direction optique n_g. Si on appelle *p* le plan de clivage, h^1 le plan qui contient les axes optiques, *c* l'axe cristallographique normal à *p*, bissectrice aiguë optique, normal à *p*, *b* l'axe cristallographique parallèle à *p* dans *h*, bissectrice obtuse et à l'axe cristallographique antéropostérieur, ligne moyenne optique, on a en appelant 1 l'axe *c* de l'ellipsoïde isotherme

$$a : b : c = 0.73 : 0.70 : 1.$$

La dureté de l'antigorite est de 3,15 environ et la densité de 4,6.

La serpentine se présente quelquefois en masses considérables renfermant des amas de magnétite, de fer chromé; souvent elle semble alors formée de fragments nodulaires, dont la surface est comme vernissée. Elle constitue aussi de vraies couches subordonnées à des schistes cristallins.

Bastite. — Variétés de serpentine très feuilletées, très clivables suivant un plan auquel sont parallèles ses fibres optiquement négatives.

Magnésite. *Écume de mer, Sépiolite.* — Silicate de magnésie hydraté, dont la composition oscille entre 2MgO3 $SiO^2$2 H^2O (silice, 61,45; magnésie, 26,59; eau, 11,96) et 3 MgO3$SiO^2$4 H^2O (silice, 54,88; magnésie, 23,75; eau, 21,37). — On ne la connaît qu'en masses arrondies, compactes, opaques, happant à la langue, dans les dépôts d'alluvions, à la surface des plaines d'Eskischer, Asie Mineure, souvent accompagnée de calcédoine, de résinites ou de carbonates de magnésie. La dureté est de 2,5; la densité de 1,2 à 1,6. Au microscope, elle paraît formée de lamelles monocliniques, à bissectrice aiguë normale au plan des lamelles. 2E = 74o d'après M. Lacroix; plan des axes g^1. Au chalumeau, elle se pelo-

tonne, devient d'abord noire, puis blanche, fond sur les bords en émail blanc. Elle est décomposable par l'acide chlorhydrique.

On peut en rapprocher les *gymnites*, qui sont quelquefois plus ou moins imprégnées de silicate hydraté de nickel.

La nickel gymnite des États-Unis (Texas) contient 35,36 de silice; 30,64 d'oxyde de nickel; 0,24 de protoxyde de fer; 14,6 de magnésie et 19,09 d'eau; la *garniérite* de Kanala, Nouvelle-calédonie, renferme de 7 ou 8 jusqu'à 40 o/o d'oxyde de nickel et seulement 5,27 d'eau. Elle a une formule voisine de 10 (MgO, NiO) 8 SiO^2 3 H^2O.

CHAPITRE XXVII

SILICATES D'ALUMINE

Disthène. $Al^2O^3SiO^2$ (Al^2SiO^5). — Silice 36,8; alumine, 63,2. Les formes dérivent d'un prisme triclinique $mt = 106°15$, pt 93°50, $pm = 100°50'$.

Clivage *m* parfait, *t* moins net, *p* imparfait.

Le clivage *p* empêche ordinairement d'observer l'extrémité du cristal.

Mâcle ordinaire suivant *m*, avec axe de rotation normal au plan de jonction. Indice de réfraction moyen, 1,72.

La bissectrice aiguë négative est à très peu près normale à *m* et le plan des axes est incliné, d'après M. Des Cloizeaux de 30° sur l'arète *mt*, de 60° environ sur l'arète *mp*. Les cristaux sont allongés suivant *mt*, striés verticalement, aplatis suivant *m*.

La dureté varie de 5 sur la face *m*, à 6 ou 7 sur les autres faces. La densité varie de 3,5 à 3,7. Verdâtre, jaunâtre, incolore, assez souvent d'un bleu de saphir.

Le disthène est infusible et insoluble dans les acides.

Fibrolite. Sillimanite. — La fibrolite a la composition du

disthène, se présente en fibres orthorhombiques, $mm = 91°45'$. Clivage h^1 très facile. Densité : 3,2 ; dureté : 6 à 7.

La bissectrice aiguë est positive et verticale, le plan des axes est m. $\rho > v$ avec une dispersion très forte.

Dumortiérite. $4Al^2O^3 3SiO^2$, qu'on peut écrire $(Al^2)^4Si^3O^{18}$, ordinairement en fibres bleues. Densité : 3,36 ; dureté : 7.

Très dichroïque, elle montre 3 images, l'une incolore suivant l'axe de plus petite élasticité, l'autre violacée suivant l'axe moyen, la troisième d'un bleu foncé suivant la direction de plus grande élasticité. $\rho > v$ avec une dispersion très forte. Les cristaux sont des prismes orthorhombiques de 120° clivables suivant h^1 et disposés par 3 en verticille autour d'un axe parallèle à mm ; le plan des axes est g^1 et la bissectrice négative parallèle à mm. L'indice de réfraction moyen 1,65. La biréfringence et 0,01 d'après MM. M. L. et L. La dumortiérite en inclusion produit autour d'elle des auréoles polychroïques, cordiérites.

Andalousite. $Al^2O^3SiO^2$, même composition que le disthène. — L'andalousite est orthorhombique, presque quadratique ; $mm = 90°48'$; $pe' = 144°55$; pa' 144°32. Elle se clive nettement suivant les faces m (variété du Brésil). Elle est infusible et insoluble. D'un blanc rougeâtre, d'un vert olive, violette, elle a l'éclat vitreux.

Densité : 3,1 à 3,2 ; dureté : 7.5.

L'andalousite du Brésil est très polychroïque, d'un vert d'huile à travers g^1, d'un vert olive à travers h^1, d'un rouge mêlé de vert à travers p.

Le plan des axes optiques est g^1 ; la bissectrice aiguë négative normale à p. $2V = 84°$.

Les cristaux sont allongés suivant l'axe négatif, souvent ils contiennent des particules charbonneuses qui dessinent des losanges noires sur les sections droites de l'andalousite blanche (fig. 218), et des sortes de doubles cônes opposés par leurs sommets dans les coupes verticales (fig. 219).

Staurotide. — Silicates d'alumine, de fer et de magnésie, dont

la composition est écrite par les uns $(Fe,Mg)^4(Al^2)^8Si7O^{44}$ 4 = $(Fe,Mg)O8Al^2O^37SiO^2$ et par d'autres $H^2R^3(Al^2)^6Si^6O^{34}$. Silice, 30,45; alumine, 51,81; protoxyde de fer, 13,69; magnésie, 2,53; eau, 2,52.

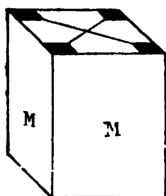


Fig. 218


Fig. 219.

M. Lechartier (*Bull. Soc.*, chap. II, t. III, p. 378, année 1865) a montré qu'après purification les cristaux ne contiennent plus que 28,16 de silice. Dans certaines variétés, par exemple à Nordmarken, Suède, il y a jusqu'à 13,7 o/o de sesquioxyde et 11,6 o/o de protoxyde de manganèse; dans une variété de Canton, Géorgie, on a trouvé 7 o/o d'oxyde de zinc.

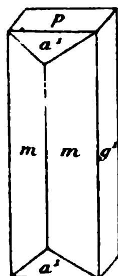


Fig. 220.

Les cristaux dérivent d'un prisme orthorhombique. Les faces dominantes sont *mm* inclinées l'une sur l'autre de 129°46'; pm=90°; pa^1=124°26' (fig. 220).

Les cristaux se clivent distinctement suivant g^1; peu nettement suivant *m*.

Souvent 2 cristaux se groupent sous un angle de 90° ou sous un angle d'environ 60°; ils se pénètrent en formant une croix à branches rectangulaires ou obliques et la surface de jonction est ondulée, d'après M. Des Cloizeaux (fig. 221).

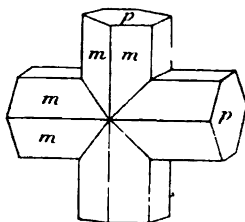


Fig. 221.

Densité : 3,7 ; dureté : 7,5.

Couleurs brun rougeâtre ou gris jaunâtre. Éclat vitreux, passant au résineux.

Plan des axes optiques h^1. Bissectrice aiguë positive normale à g^1.

n_g = 1,746 jaune d'or; n_p = 1,736 jaune pâle, d'après MM. Michel Lévy et Lacroix.

Infusible; inattaquable par les acides.

Chloropale (*nontronite*). $Fe^2O^33SiO^25H^2O$. — Amorphe. Elle est jaune, vert serin, vert pistache ; elle est onctueuse au toucher, ductile, elle a l'apparence de l'opale, une densité faible de 1,7 à 2,1 ; une dureté de 2,5 à 4,5. Au chalumeau, elle devient noire sans fondre; elle est en partie attaquable par l'acide chlorhydrique (*chloropale*) ou complètement, en faisant gelée (*nontronite*).

La nontronite est formée de lamelles très fines, à allongement positif, s'éteignant suivant leur longueur, et groupées en masses uniformes ou sphérolithiques. Axes optiques écartés (M. Lacroix).

Anthosidérite. — Matière fibreuse à densité 3, dureté 6,5. C'est un silicate de fer hydraté, $2Fe^2O^39SiO^22H^2O$, à éclat soyeux, d'un jaune grisâtre. Elle est assez difficilement fusible et attaquable par les acides.

Glauconie $(Fe,K^2)O(Fe^2,Al^2)O^33SiO^2 + xaq$. — Grains verts d'apparence cristalline, sans doute monocliniques, ayant pour densité 2,2 à 2,4, pour dureté 2. En grains disséminés dans les calcaires de différents âges.

Chlorophœite $2FeO3SiO^212H^2O$. — Matière d'un vert pistache, d'un vert olive, qui brunit à l'air et se présente en aiguilles clivables, en petites masses stalactiques ou amorphes. Dureté, 1,5 à 2 ; densité, 1,81 à 2.

Au chalumeau, elle fond en globule noir magnétique.

CHAPITRE XXVIII

LES FELDSPATHS

Les feldspaths sont des silicates alumino-alcalins ou aluminoterreux : 1° ils sont plus durs que l'acier; leur dureté est 6 ou un peu supérieure à 6 ; ils font feu au briquet; 2° ils sont au moins clivables suivant au moins deux directions qui font entre un angle de 90°, ou voisin de 90°. L'un appelé orthose a ses deux clivages

faciles exactement rectangulaires entre eux; l'un des deux, parfait, p, à éclat souvent nacré, est parallèle à la face qu'on prend pour base de la forme primitive; l'autre, moins facile, g^1, est parallèle au plan de symétrie, unique dans cette forme, qui est un prisme monoclinique ; il existe enfin dans l'orthose deux clivages égaux, mais assez difficiles, parallèles aux faces qu'on choisit pour pans m de la forme primitive (fig. 222). La base est également inclinée sur les pans m. Les clivages rectangulaires de l'orthose l'ont fait appeler aussi *orthoclase*.

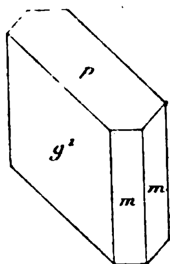


Fig. 222.

Dans tous les autres feldspaths, les deux clivages faciles sont inclinés l'un sur l'autre d'angles différents de 90°; la forme primitive n'a plus un rhombe pour base; c'est un prisme à base inclinée à la fois d'arrière en avant et de gauche à droite; aussi les pans sont-ils appelés m et t et la base fait-elle avec ces faces des angles pm et pt différents l'un de l'autre. Tous ces feldspaths sont appelés *plagioclases*.

Orthose (feldspath commun de Werner, adulaire, sanidine, etc.). — Sa composition chimique est exprimée par la formule $K^2Al^2Si^6O^{16}$ ou $K^2OAl^2O^36SiO^2$ (silice 64,62; alumine 18,49; potasse 16,89). Souvent la soude, jusqu'à 2 ou 3 o/o, la chaux en très petites proportions et de très faibles quantités de magnésie se substituent à des quantités équivalentes de potasse. Une variété appelée *hyalophane* contient jusqu'à 15 o/o de baryte (H. de Binnenthal, Valais).

L'oxygène de la potasse est toujours dans le rapport de 1 à 3, par rapport à celui de l'alumine et dans le rapport de 1 à 12 par rapport à celui de la silice. Ses formes dérivent d'un prisme clinorhombique de 118°48, dont les faces s'observent toujours sur tous les cristaux.

Une face naturelle presque toujours très développée est parallèle au plan bissecteur des faces mm; c'est la face g^1; une autre qui s'observe toujours et qui a ordinairement l'éclat nacré est perpen-

diculaire à g^1 et fait avec l'arête h ou mm un angle de 116°7 ; on la choisit pour base du prisme ; c'est parallèlement à ces deux faces p, g^1 que se produisent les clivages faciles rectangulaires entre eux et caractéristiques de l'orthose.

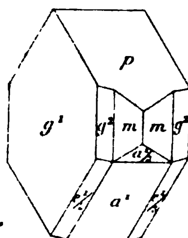


Fig. 223.

Un assez grand nombre de cristaux présentent aussi les formes a^1, $a^{1/2}$, g^2, $e^{1/2}$ (fig. 223).

pa^1 129°4 $pa^{1/2}$ 99°37 $pe^{1/2}$ 135°30
mg^1 120°36.

Les cristaux sont quelquefois un peu allongés dans le sens de la hauteur (adulaire du Saint-Gothard), ou bien allongés, au contraire, d'avant en arrière, dans les porphyres (fig. 224). L'orthose des granites offre assez rarement des contours bien définis ; les formes de ses grains dépendant de celles que lui permettent les éléments voisins dans la roche dont ils semblent remplir les vides. Il se montre au contraire en cristaux isolés, dans la masse des porphyres, granites porphyroïdes, trachytes. Ses sections peuvent avoir les formes suivantes (fig. 225) :

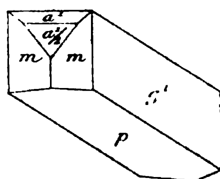
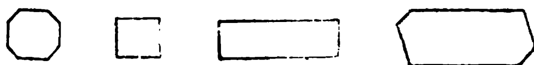
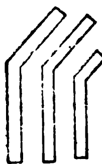


Fig. 224.


Fig. 225.

Quand il constitue l'élément fondamental des porphyres, des trachytes, on le voit au microscope s'allonger suivant l'arête pg^1 en prismes tronqués (microlithes). Il renferme souvent des lamelles de plagioclases faciles à reconnaître par leurs stries de groupement et les bandes colorées parallèles qui les caractérisent en lumière polarisée.


Fig. 226.

Dans les pegmatites appelées graphiques, on voit le feldspath et le quartz alterner en bandes parallèles, dont les contours sont des lignes brisées (fig. 226).

Les cristaux offrent plusieurs modes de groupements :

1° Deux demi-cristaux peuvent se grouper parallèlement au plan de symétrie avec rotation de l'un d'eux autour d'une normale à ce plan ; ce groupement est rare et ne peut se constater qu'au moyen des extinctions en lumière polarisée sur des sections obliques au plan de jonction ou sur les sections parallèles à ce plan en observant les deux faces ;

3° Deux cristaux peuvent se grouper en se superposant, mais avec rotation de 180° de l'un d'eux autour d'une normale à la base commune ; c'est ce qu'on appelle loi de l'île d'Elbe ou de Mannebach.

3° Groupement suivant la *loi de Baveno.*

Ici le plan d'assemblage est parallèle à $e^{1/2}$. L'ensemble a l'aspect d'un prisme rectangulaire terminé par deux sommets dissymétriques, dont l'un montre les faces mg^1 $a^{1/2}$ $b^{1/2}$ et l'autre les mêmes faces disposées tout autrement, l'un ayant un angle rentrant, l'autre un angle sortant ; les deux bases supérieure d'un cristal, inférieure de l'autre sont situées à droite et à gauche du plan de jonction ; il en est de même des faces g^1 droite de l'un et gauche de l'autre ; cela tient à ce que les angles $pe^{1/2}$, $g^1e^{1/2}$ sont tous les deux égaux à 135°, à trois minutes près.

4° Soit deux cristaux situés l'un à côté de l'autre ; l'un des deux tournant autour de l'axe vertical se place vis-à-vis de l'autre, comme une image en face d'un objet, vue derrière un miroir ; les deux individus se pénètrent ensuite à moitié, gardant leurs arêtes parallèles et se trouvent accolés suivant le plan g^1, ayant une partie commune et l'autre libre (fig. 227). Cette loi est dite de *Carlsbad.* Si on incline devant une lumière la surface basique du groupe obtenue au moyen d'un coup de marteau, on voit briller d'abord la base d'un des cristaux ; on n'aperçoit le clivage brillant de l'autre qu'en faisant tourner le groupe d'un angle de 51°44 (gros cristaux des granites, trachytes porphyroïdes).

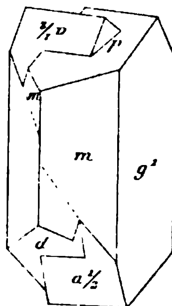


Fig. 227.

L'orthose a pour caractère au chalumeau sa fusibilité, qui, bien que difficile, sert à le distinguer des variétés compactes de quartz.

Pour observer ce dernier caractère, il faut obtenir à l'aide du marteau quelques très petits fragments, choisis parmi ces derniers ceux qui offrent une pointe vive, en placer un dans la pince de platine, l'observer à la loupe et l'introduire ensuite dans la partie la plus chaude de la flamme du chalumeau; après quelques instants on voit, en s'aidant de nouveau d'une loupe, la pointe vive très nettement arrondie. Certains pétrosilex où le feldspath est mélangé de silice sont difficilement fusibles.

L'orthose colore ordinairement la flamme extérieure d'un bec de Bunsen en jaune; mais, si on regarde au travers d'un verre bleu un peu clair la coloration qu'il communique à la partie chaude de la flamme, cette coloration tourne au rose.

Caractères généraux de l'orthose. — On peut signaler d'abord ses clivages rectangulaires, faciles, auxquels s'adjoignent quelquefois des clivages difficiles suivant les faces du prisme, sa densité qui varie de 2,58 à 2,6, sa dureté qui est 6, quelquefois un peu supérieure dans les orthoses compactes, mélangés de silice. La cassure des variétés compactes est ordinairement esquilleuse, ressemblent à celle des agates.

La densité de l'orthose est d'environ 2,58 à 2,6. La dureté en est 6, quelquefois un peu supérieure dans les orthoses compactes, mélangés de silice.

Les couleurs en sont assez ordinairement claires; incolores, jaunâtres, rosées, rouges, plus rarement d'un rouge sombre, verdâtres, bleuâtres. Les cristaux sont quelquefois transparents, bien que la transparence en soit souvent troublée par des fissures, surtout dans les variétés vitreuses, appelées *sanidines*, qui sont ordinairement hachées, ou même cassées. Sur la base on observe souvent des reflets nacrés; quelquefois certaines variétés offrent un assez joli chatoiement avec plans de séparation suivant h^1 (*pierre de lune*); les gros cristaux prennent quelquefois l'aspect porcellanique, ou bien ils ont un éclat plus mat, par altération (granites).

L'orthose présente des variétés laminaires, lamellaires et même compactes (voyez pétrosilex, felsite, curite); d'autres vitreuses, dans la masse desquelles on distingue des parties dévitrifiées, filamenteuses (*trichites*, voyez obsidienne, pumite ou ponce, perlite, etc.).

Caractères optiques de l'orthose. — Soit ABCD la base ou face p des cristaux, BDEF plan g^1 (ou de symétrie optique) CDEF plan h^1 ou antérieur; $\alpha B'$ parallèle à DB ou pg^1 dans le plan g^1 (fig. 228). Dans ce dernier plan, les deux lignes d'extinction se confondent avec les axes d'élasticité. L'une $\alpha\alpha'$ fait avec $\alpha B'$ un angle de 4 ou 5°, de 110° à 112° avec l'arête verticale DE; l'autre ligne d'extinction est l'axe d'élasticité $\gamma\gamma'$ perpendiculaire au premier. Sur la face p, des deux lignes d'extinction, l'une est un axe d'élasticité $\alpha\beta$, parallèle à CD (arête ph^1); l'autre mn perpendiculaire à $\alpha\beta$, est la projection de l'axe d'élasticité mené par le centre du cristal parallèlement à $\alpha\alpha'$. Sur le plan CDEF (h^1) une des lignes d'extinction est $\alpha\beta$ parallèle à l'arête CD et à la diagonale horizontale; c'est un axe d'élasticité; l'autre est rs perpendiculaire à $\alpha\beta$.

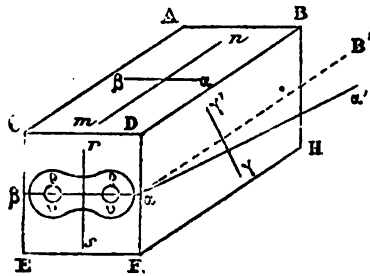


Fig. 228.

Une plaque à faces perpendiculaires à $\alpha\alpha'$ montre deux systèmes d'anneaux colorés. Les couleurs y sont disposées symétriquement, $\rho\rho$ rouge, par exemple, au dessus et vv bleu au dessous de $\alpha\beta$ (*dispersion horizontale*). 2V très grand $\rho > V$.

Lorsqu'on élève la température de l'orthose, l'angle des axes diminue et finit même par devenir nul; puis, à mesure que la température s'élève, les axes optiques s'écartent de nouveau l'un de l'autre, mais dans le plan g^1 et les bissectrices aiguës se dispersent dans ce plan; la dispersion devient *inclinée*. Si la température dépasse 600°, la modification devient permanente $\rho < v$ (Des Cloi-

zeaux. Souvent on voit dans une même lame d'orthose varier l'angle des axes optiques.

La dispersion inclinée s'observe surtout dans la sanidine (orthose vitreux des trachytes). Sur la base, l'extinction a toujours lieu suivant les directions pg^1 et ph^1.

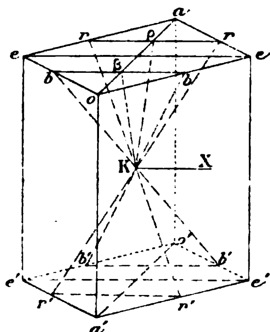


Fig. 229.

La figure 229 montre dans le cas général d'une dispersion horizontale, la position des axes d'élasticité et des axes optiques.

aoa' est le plan de symétrie (g^1) ; *k* le centre du cristal; Kβ, Kρ, les bissectrices des angles aigus *bKb*, *r*K*r* des axes optiques correspondant au bleu et au rouge; *xx'* de la figure 228 est la vraie position de la bissectrice aiguë négative, moyenne, c'est-à-dire vue en lumière blanche; KX de la figure 229 est la bissectrice obtuse moyenne.

Souvent on note n_p la direction qui correspond au plus petit indice de réfraction; elle est optiquement négative ; c'est la direction de plus grande élasticité; n_g, KX dans la figure 229, correspond au plus grand indice de réfraction et est optiquement positive.

Reproduction de l'orthose. — M. Hautefeuille a reproduit l'orchose en mélangeant de l'acide tungstique et un excès de potasse à de l'alumine et à de la silice dans la proportion de 1 à 6, à environ 900°. Plus tard, en décomposant du tungstate de potasse par du phosphate avec un excès de fluorure alcalin, il a obtenu vers 7 ou 800° de l'orthose et du quartz à côté l'un de l'autre.

La figure 230 représente un essai de reproduction d'orthose, par MM. Fouqué et Michel Lévy, extrait de leur atlas. Le feldspath a été obtenu en fondant un mélange de ses éléments chimiques et en le maintenant pendant quarante-huit heures à une température voisine de celle de fusion. Le réseau que montre la figure (à un grossissement de 30 diamètres en lumière polarisée, entre des

nicols croisés) est composé de lignes alternativement claires et obscures, alignées dans deux directions à angle droit.

MM. C. Friedel et Edmond Sarasin sont parvenus à reproduire l'orthose en chauffant ensemble à une température inférieure au rouge un mélange d'alumine, de silicate de potasse et d'eau.

Fig. 230. — Orthose reproduit par MM. Fouqué et Michel Lévy.

Microcline. — M. Des Cloizeaux a montré que dans un grand nombre de feldspaths rapportés à l'orthose, les lignes d'extinction sur le clivage parallèle à p se trouvent orientées autrement que ne l'exige la symétrie clinorhombique.

La forme géométrique des cristaux étant toujours celle de l'orthose, soit KL la diagonale inclinée de la base, $\alpha\beta$ la diagonale horizontale, BD, AC, les intersections de la base avec le pan latéral g^1. Dans le feldspath dont nous parlons (fig. 231), les lignes d'extinction ne sont plus parallèles aux deux diagonales KL, $\alpha\beta$, comme dans l'orthose; l'une de ces lignes fait un angle de 15°20′ avec l'arête BD, l'autre est inclinée sur cette arête sous l'angle complémentaire de 74°40′.

Fig. 231.

La base p, souvent striée parallèlement à l'arête pg^1, n'est pas

exactement perpendiculaire à la face g^1 ; $pg^1 = 90°15'$; mais la différence avec 90° ne dépasse pas quelques minutes. Breithaupt, qui avait observé cette déviation légère de la base sur certaines variétés qui sont optiquement de l'orthose leur avait donné le nom de *microclines*. M. Descloizeaux a étendu ce nom à tous les feldspaths ayant le type chimique et les formes cristallines de l'orthose, à part la faible obliquité de leurs bases sur leurs pans, mais optiquement tricliniques. Sur le plan g^1, les lignes d'extinction offrent la même orientation que dans l'orthose. La bissectrice aiguë n_g (négative) est inclinée de 78°9 sur la normale à g^1, de 31°9 sur la normale à h^1, de 96° sur la normale à p. Le clivage t est moins facile que le clivage m. Il est rare que les cristaux ou masses cristallisées de microclines soient simples et pures. Le plus souvent, la face de clivage facile apparaît au microscope comme une mosaïque à plages composées les unes de microcline, les autres d'orthose, et traversées par des filons d'albite, ou comme un quadrillage produit par l'entrecroisement de nombreuses bandelettes de microcline, les unes exactement parallèles, les autres perpendiculaires à deux ou trois degrés près à l'arête pg^1, encastrant çà et là des filets minces d'orthose et plus ou moins sillonnées de veinules d'albite. Sur la face g^1 on voit des bandes d'orthose. Le microcline paraît le feldspath dominant des pegmatites. On l'observe aussi dans les granites et les granulites.

On peut voir à la description de la pegmatite une figure qui représente une lame mince à faces parallèles de cette roche vue à un grossissement de 50 diamètres en lumière parallèle, entre deux nicols ; l'orthose et l'albite y sont à peu près éteints ; le microcline s'y montre avec sa structure quadrillée (extrait de l'Atlas de MM. Fouqué et Michel Lévy).

Anorthose (K^2Na^2,$OAl^2O^3 6SiO^2$. — Dans les syénites éléolithiques et augitiques, dans certains porphyres, le feldspath dominant tout en ayant les caractères de l'orthose au premier aspect, en diffère d'abord par sa teneur en soude qui est égale à celle en potasse et qui, par conséquent, élève à 68 o/o celle en silice, par

l'angle des clivages p et g^1 qui est voisin de 90° 1/2, par ses propriétés optiques, les lignes d'extinction sur la base étant l'une à 1° 1/2 de pg^1 et l'autre également oblique sur ph^1 et celles sur g^1 étant l'une à 9° et l'autre à 99° de la même arête pg^1 ; ce feldspath diffère surtout de l'orthose par l'allongement de ses cristaux qui est parallèle à g^1h^1 et par ses stries parallèles à pg^1, provenant des macles qui seront décrites aux plagioclases,. et qui s'y ajoutent souvent à celles particulières à l'orthose. On regarde aujourd'hui l'anorthose comme un mélange de 1 molécule d'orthose et 1 molécule d'albite.

Perthite. — On peut placer ici les variétés d'orthose, des environs de Perth, Canada, agrégats lamellaires d'orthose, coloré en brun par des écailles de fer oligiste et mélangé de bandelettes d'albite. Dans certaines de ces variétés, le mélange ne devient distinct qu'à de forts grossissements; on les a appelées *microperthites*.

Plagioclases proprement dits et leurs mélanges. — Dans les plagioclases proprement dits, la potasse disparaît et fait place à de la soude dans l albite, à de la chaux dans l'anorthite. Les formes cristallines dérivent d'un prisme triclinique, dont la base, placée par l'observateur de façon qu'elle penche vers lui, s'incline en même temps de gauche à droite, l'arête obtuse pg^1 étant vue à droite et l'aiguë à gauche. Par abréviation, on dit l'arête obtuse, au lieu de dire l'arête correspondant au dièdre obtus pg^1. L'angle obtus et la densité augmentent de l'albite à l'anorthite. L'albite est insoluble dans les acides, l'anorthite se dissout en faisant gelée dans l'acide chlorhydrique.

FELDSPATHS PLAGIOCLASES

	FORMULES CHIMIQUES	ANGLES PRINCIPAUX							
		pg^1 à droite	*pm*	*mt*	*pt*	$pa^{1/2}$	pa^1	$pe^{1/2}$	tg^1
Albite . . .	$Na^2 OAl^2O^3 6SiO^2$	93°36	110°50	120°47	114°42	97°54	127°43	133°14	119°33
Oligoclase .	$(Na^2, K^2, Ca)OAC^2O^34 \frac{1}{2} SiO^2$.	93°50	110°55	120°42	114°40	97°22	127°6	132°40	120°24
Andésine. .	$(Na^2, K^2, Ca)OAl^2O^34SiO$ . .	env. 93° 1/2	111° 1/2		115°				120°
Labradoı . .	$(Ca, N^2) OAl^2O^33SiO^2$	93°20	110°50	121°37	113°34	98°58			120 53
Anorthite. .	$CAOAl^2O^32SiO^2$	94°10	110°40	120°30	114°7	98°46	128°29	133°14	121 50

Mais l'analyse chimique de ces substances a fait voir que la plupart oscillent autour de ces compositions et Tschermak a posé ce principe que les variations de leurs propriétés optiques sont d'accord avec celles de leur composition, lorsqu'on les considère comme des mélanges des deux types extrêmes qui sont l'albite et l'anorthite.

Comme le volume moléculaire de l'albite, c'est-à-dire le quotient de son poids moléculaire par sa densité, est le double de celui de l'anorthite, on représente par A*b* la molécule d'albite et par A*n* la molécule double d'anorthite.

Soit *m* le nombre de molécules de A*b* et *n* celui des molécules de A*n* qui entrent dans la composition d'un plagioclase où le rapport des nombres d'atomes d'oxygène contenus dans la silice et dans les protoxydes est *q*.

Une quantité de ce feldspath contenant en tout 1 d'oxygène dans ses protoxydes, on a :

(1) $$1 = m + 2n.$$

Cette quantité du même feldspath contient *q* d'oxygène dans la silice;

(2) $$q = 12m + 8n.$$

On en tire :

$$m = 1 - 2n \quad \text{et} \quad q = 12 - 24n + 8n = 12 - 16n$$

d'où

$$n = \frac{12 - q}{16} \quad m = 1 - \frac{12 - q}{8} = \frac{8 - 12 + q}{8} = \frac{2q - 8}{16}$$

et par conséquent : $$\frac{m}{n} = \frac{2q - 8}{12 - q}.$$

Soit par exemple :

1° Le labrador regardé d'abord comme typique.

$$q = 6 \quad n = \frac{12 - 6}{16} = \frac{3}{8} \quad m = \frac{12 - 8}{16} = \frac{2}{8}$$

$$\frac{m}{n} = \frac{2}{3}.$$

On peut écrire la composition de ce labrador $Ab_2 + An_3$.

2° Labrador appelé aujourd'hui *L. proprement dit.*

L'analyse montre que les rapports des atomes d'oxygène contenus dans les protoxydes, l'alumine et la silice sont entre eux : : 1 : 3 : 6,6.

Posons dans les relations ci-dessus : $q = 6,6$.

$$m = \frac{6,6 - 4}{8} = \frac{2,6}{8} \qquad n = \frac{12 - q}{16} = \frac{5,4}{16} \qquad \frac{m}{n} = \frac{5,2}{5,4}$$

très voisin de 1.

La composition de ce feldspath s'écrit $Ab_1 + An_1$.

3° Oligoclase à rapports d'oxygène 1 : 3 : 10.

$$m = \frac{9 - 4}{8} = \frac{5}{8} \qquad n = \frac{12 - 9}{16} = \frac{3}{16} \qquad \frac{m}{n} = \frac{10}{3}.$$

On a la composition $Ab_{10} + An_3$.

4° Prenons pour dernier exemple, l'oligoclase à rapports d'oxygène 1 : 3 : 8,8 $\quad q = 8,8$.

$$m = \frac{8,8 - 4}{8} = \frac{4,8}{8} \qquad n = \frac{12 - 8,8}{16} = \frac{3,2}{16} - \frac{m}{n} = 3.$$

La composition s'écrira donc : $Ab_3 + An_1$.

D'après Tschermak, la composition des feldspaths est représentée de la façon suivante :

	Mélange intermédiaire entre		
Série de l'albite	$Ab_1\ An_0$	et	$Ab_8\ An_1$
Série de l'oligoclase	$Ab^6\ An_1$	et	$Ab_2\ An_1$
Série de l'andésine	$Ab_3\ An_1$	et	$Ab_4\ An_2$
Série du labrador	$Ab_1\ An_1$	et	$Ab_1\ An_3$
Série de la bytownite	$Ab_1\ An_3$	et	$Ab_1\ An_3$
Série de l'anorthite	$Ab_1\ An_8$	et	$Ab_0\ An_1$

On devrait d'après la théorie trouver dans la nature des feldspaths dont la composition correspondrait à des mélanges d'anorthite et d'albite en toutes proportions. Cela se réalise à peu près; mais, le plus fréquemment, les feldspaths ont une composition qui

permet de les regarder comme des intermédiaires situés à distance à peu près égal des types précédents, d'après un récent mémoire de M. Fouqué, qui complète la nomenclature ci-dessus en y ajoutant le labrador-bytownite, l'andésine-oligoclase, l'oligoclase-albite. Et, comme on connaît aujourd'hui des feldspaths qui ne peuvent être rattachés à aucun des types précédents, mais qu'on peut considérer comme des mélanges d'orthose et d'albite, M. Fouqué admet la série suivante :

ESPÈCES FELDSPATHIQUES	POIDS SPÉCIFIQUE	TENEUR EN SILICE
Anorthite	2,745	44
Bytownite	2,725	»
Labrador-bytownite	2,705	53
Labrador	2,696	55
Andésine	2,675	58
Andésine-oligoclase.	2,654	62
Oligoclase	2,645	64
Oligoclase-albite	2,640	65
Albite.	2,610	68
Anorthose	2,580	68
Microcline-anorthose	2,570	»
Microcline	2,560	65,5
Orthose	2,53 à 2,6	65 en moyenne

Les feldspaths riches en silice fondent difficilement au chalumeau; on ne peut les fondre qu'en esquilles minces, après un certain temps d'exposition au bord extérieur d'une flamme courte et chaude; l'anorthite fond plus facilement en verre bulleux.

Les formes dominantes des plagioclases diffèrent peu de celles de l'orthose dans les cristaux simples; mais ils se groupent suivant plusieurs lois importantes :

Groupements particuliers aux plagioclases. — Les feldspaths du système bioblique peuvent présenter les groupements de l'orthose et surtout celui qui obéit à la loi de Carlsbad; c'est ce qu'on observe souvent dans les cristaux de labrador et quelquefois dans

ceux d'oligoclase; mais ils en possèdent encore d'autres qui leur sont propres, seuls ou combinés aux précédents. On oppelle groupements *polysynthétiques* ceux qui sont produits par l'association de groupements simples, soumis à des lois différentes. En dehors des modes de groupements étudiés plus haut à propos de l'orthose, l'albite fournit les types d'autres modes, soumis à plusieurs lois, dont les deux principales, celles qu'on rencontre dans les cristaux qu'on peut regarder comme éléments essentiels des roches, sont les suivantes :

1° Deux individus sont accolés suivant la face g^1; l'un des deux ayant tourné de 180° par rapport à l'autre autour d'un axe perpendiculaire au plan de jonction; ce mode de groupement donne lieu à un angle rentrant qu'on appelle *goutière de l'albite*; on l'appelle *loi de l'albite* (fig. 232). Un demi-cristal 2 se juxtaposant au demi-cristal 1 en se renversant par rapport à lui, un demi-cristal 3 se comporte vis-à-vis de 2, comme celui-ci vis-à-vis de 1 et reprend la position de 1, et ainsi de suite; on a une série de 1/2 cristaux 1,3,5... alternés avec des demi-cristaux renversés 2, 4, 6 (fig. 233). Ces groupements répétés produisent sur les faces extérieures et particulièrement sur les bases des cristaux ou les faces de clivage qui leur sont parallèles des stries fines, quelquefois très rapprochées.

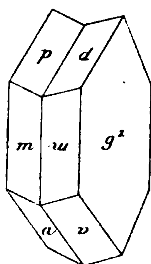


Fig 232.

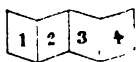
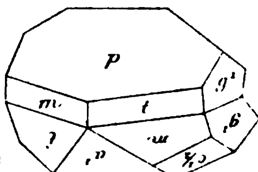


Fig. 233

2° Une moitié d'un cristal, après avoir tourné d'un angle variable autour de l'axe de la zone ph^1 $a^{1/2}$ parallèle à la droite qui joint les milieux des lignes qq', rr', de la figure 236, arêtes pg^1, se trouve placée après cette rotation, tantôt au dessus, tantôt au dessous de l'autre moitié restée fixe. Ce groupement se manifeste sur les faces g^1 par un angle rentrant très voisin de 180°, sur la face de gauche, lorsque le 1/2 cristal inférieur a exécuté la rotation, le supérieur étant resté fixe; il se manifeste sur la face de droite, lorsque l'inférieur étant fixe, c'est le supé-

rieur qui est passé en dessous. Ce groupement est spécial à la variété d'albite appelée *Péricline*; la loi qu'il suit est dite *loi de la Péricline* (fig. 234).



Le plan de jonction est parallèle à la section rhombique du prisme triclinique choisi pour forme primitive; sa position subit des changements très notables, lorsque les inclinaisons des faces varient de petites quantités.

L'angle dont il faut tourner un des cristaux pour l'amener à couper l'autre suivant la section rhombique est fixe dans chacune des espèces de plagioclases et, comme il est fréquent, on l'utilise pour la distinction de ces différentes espèces, en mesurant sur les faces g^1 obtenues par le clivage l'angle de la trace du plan de jonction et de celle du clivage p sur ces faces.

Sur la face g^1 dans l'andésine la trace du plan de jonction est parallèle à celle du clivage p, ou, ce qui revient au même, à la direction pg^1. L'angle est donc — 0°. Dans le labrador cet angle est de — 90° et dans l'anorthite il est de — 18°; on voit qu'il se compte à partir de la parallèle à pg^1 en sens inverse des aiguilles d'une montre; on est convenu de le compter *négativement* dans ce sens. Dans l'oligoclase, il est de + 4°; dans l'albite, il varie de 13 à 21°; dans le microcline il est de 100° ou de — 80°; dans ces trois derniers cas, il se compte à partir de la direction pg^1 dans le sens des aiguilles d'une montre; il est *positif* (fig. 235).

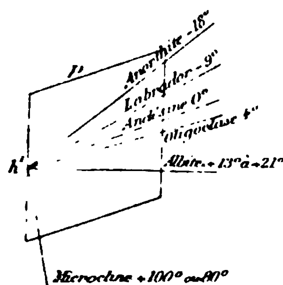


Fig. 235.

Caractères généraux des plagioclases. *Stries*. — Les groupements si fréquents et si multipliés dans les plagioclases se manifestent sur un grand nombre de leurs sections par les stries qu'y déterminent les traces de leurs plans de jonction. On observe particulièrement ce phénomène sur les faces de clivage parallèles aux

bases qui sont souvent sillonnées de stries parallèles entre elles et au plan de jonction produit par la loi de l'albite, très nombreuses quelquefois et très fines; ce caractère faisait appeler autrefois tous les plagioclases des feldspaths *striés*. On ne peut évidemment pas apercevoir ce groupement sur g^1 puisqu'il lui est parallèle; mais il est plus ou moins net sur les autres sections suivant que celles-ci se rapprochent plus ou moins comme direction de la base.

Les couleurs y sont en général claires comme dans l'orthose. L'albite est quelquefois d'un blanc de lait; elle est parfois verdâtre ou même rougeâtre; elle est généralement blanche dans les roches; elle a souvent un éclat nacré sur la base et vitraux sur les autres faces. L'albite joue rarement le rôle d'élément essentiel dans les roches; mais elle forme souvent des veines dans les autres feldspaths.

L'oligoclase est ordinairement d'un blanc grisâtre, jaunâtre, parfois verdâtre ou rougeâtre. Souvent ses cassures, quand elles ne sont pas parallèles à p ou à g^1 son esquilleuses et ont l'éclat de la noisette.

Une variété a reçu le nom de *pierre du soleil* à cause de ses effets de lumière, qui rappellent ceux de l'aventurine artificielle et qui sont dus à l'interposition de lamelles jaunes ou rouges de fer oligiste ou de pyrite magnétique.

L'oligoclase est ordinairement escortée dans les roches, de silicates, de magnésie et de fer plus ou moins alumineux : micas, chlorites, amphiboles, pyroxènes. Il représente en quelque sorte la moyenne des autres feldspaths, et se trouve associé à tous; à l'orthose, dans les syénites; à l'albite, dans les diorites; au labrador, dans les mélaphyres. Parfois il forme dans les syénites le noyau d'un cristal, dont l'orthose fournit l'enveloppe. Ou bien il entoure comme d'une auréole l'orthose des granites de Finlande (granites de Rappakivi). Souvent une croûte jaune enveloppe les cristaux; elle est produite par l'action de l'acide carbonique de l'air.

Labrador. — La couleur varie du gris au blanc grisâtre ou

verdâtre. Quelques variétés brillent de reflets splendides, bleus, verts, jaune d'or, rouges, sur les faces g_1.

Anorthite. — Elle est souvent incolore, transparente et elle a un éclat très vif, souvent nacré sur les faces de clivage.

Les feldspaths intermédiaires ont en général des caractères voisins de ceux des précédents dont ils se rapprochent le plus.

C'est aux gros cristaux que se rapportent les caractères précédents. Maiss, le plus souvent dans les roches, surtout dans les régions de première consolidation, les feldspaths se sont constitués en prismes allongés suivant l'arête pg^1, direction de l'arête aO des bases de la forme primitive. Il est rare d'observer des facettes aux extrémités du prisme; on voit des tronçons bacillaires parallèles (microlithes), mais retournés chacun par rapport aux voisins, comme en font foi les caractères optiques. Enfin, tous ces feldspaths peuvent présenter comme l'orthose des variétés de toutes sortes (vitreuses, etc.).

Caractères optiques. — Une section mince de roche présente presque toujours des cristaux de feldspath taillés dans toutes les directions. Parmi celles-ci, on doit choisir celles qui offrent des éléments de détermination. L'on a deux méthodes :

1° Celle basée sur l'emploi de la lumière parallèle seule et la mesure des angles d'extinction sur certaines faces reconnues; 2° celle basée sur l'emploi de la lumière convergente.

Souvent, sans tailler des sections minces, on peut, avec un marteau, obtenir des lamelles parallèles aux clivages p et g^1, lorsque les cristaux ont des dimensions qui le permettent.

Observations en lumière parallèle. — Soit un cristal de feldspath triclinique sous sa forme la plus commune $pmtg^1$; qq' est l'arête d'intersection de p et de g^1 qu'on représente par pg^1.

qq' est parallèle à la diagonale ao; oa' est l'arête h ou mt, parallèle à l'axe de la zone mtg^1.

Quelles que soient les orientations des cristaux de feldspath dans les sections minces des roches, on a toujours chance d'en observer un certain nombre qui présentent des faces de clivage p ou g^1,

chacune de ces directions planes présentant des fissures où l'on ne tarde pas à reconnaître, avec un peu d'habitude, des fissures ou des stries parallèles à la trace de l'autre clivage; en sorte que ces fissures, parallèles à l'intersection pg^1, deviennent des lignes de repère qu'on amène par une rotation convenable de la platine tournant du microscope à être parallèles au fil antéropostérieur de la croisée de fils fixée au foyer de l'oculaire des microscopes polarisants. La plaque étant dans cette position, on note la division marquée sur le bord de la platine qui correspond au zéro du vernier; on tourne ensuite la platine et la plaque jusqu'à ce qu'on observe une position où l'obscurité soit rétablie; on lit de nouveau la division de la platine correspondant au zéro du vernier; par différence, on connaît l'angle de cette direction d'extinction et de l'arête pg^1.

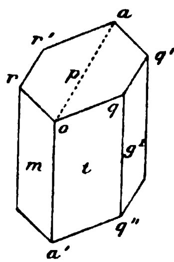


Fig. 236.

Face p. — Par convention, on compte positivement la distance angulaire $ak\varepsilon$ sur p de la ligne d'extinction $k\varepsilon$ et de ao, parallèle à l'intersection pg^1 lorsque, pour aller de ak vers ε, il faut marcher dans le sens des aiguilles d'une montre. L'angle $\varepsilon'ka$ est au contraire négatif, puisqu'il faut suivre le sens inverse pour aller de a vers ε'.

Face g¹. — Par une convention analogue, on regarde comme positif sur g^1 l'angle $ao\eta$, qui se compte à partir de oa, parallèle à pg^1, dans le sens des aiguilles d'une montre et comme négatif un angle qui se compterait en sens inverse. L'angle $\eta'o'a'$ reste positif, puisqu'on peut transporter la ligne d'extinction $o'\eta'$ parallèlement à elle-même, en $o\eta$.

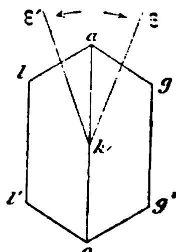


Fig. 237.

ESPÈCES	ANGLES	
	$a\,k\,\varepsilon$	$a\,o\,\eta$
Orthose	0°	5°
Microcline	15° 1/2	5° 1/2
Microcline-anorthose	»	»
Anorthose	env. 1° 1/2	9°
Albite	env. 3° 1/2	env. 19°
Oligoclase-albite	1 à 3°	env. 10° 1/2
Oligoclase	1 à 2°	5 à 8°
Oligoclase-andésine	1° 1/2 à 2°	2 a 4°
Andésine	2° 0°	0°
Labrador	env. — 9°	— 24°
Labrador-bytownite	— 8° à — 12°	env. — 20°
Bytownite	»	»
Anorthite	— 36 1/2°	— 42°

C'est en lumière parallèle qu'on observe dans les sections minces les traces des groupements sur g^1, en particulier les angles des traces des plans de jonction dans les groupes soumis à la loi de la péricline et de la direction pg^1.

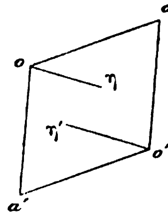


Fig. 238.

La macle de l'albite ne se voit pas sur la face g^1, puisque le plan d'association est parallèle à cette face; mais, quand les lames hémitropes sont excessivement minces, la plaque peut en présenter plusieurs superposées et, chacun agissant sur la lumière polarisée, il n'y a pas extinction simultanée de tous les points de la lame. Une ombre noire paraît balayer le champ. On a des extinctions dites roulantes.

M. Michel Lévy a donné des formules qui permettent de calculer pour chaque section d'une zone les angles de ses lignes d'extinction et de l'arête de zone, lorsqu'on connaît ceux des points où l'arête (axe) de la zone et les axes optiques percent une sphère ayant pour centre celui du cristal.

(Voy. *Les Minéraux des Roches*, par M. Michel Lévy, p. 9.)

Observation des sections parallèles à l'axe de la zone ph^1. — Presque tous les plagioclases montrent souvent à la fois la macle de l'albite et celle de la péricline qu'il est facile de distinguer l'une de l'autre. La macle de la péricline a un allongement négatif, tandis que celle de l'albite a un allongement positif.

Quand deux cristaux maclés suivant la loi de Carlsbad sont eux-mêmes des assemblages d'individus groupés suivant la loi de l'albite (fig. 239), ils offrent entre deux nicols croisés quatre positions d'éclairement commun Ce caractère n'appartient qu'aux sections qui sont dans la zone de symétrie.

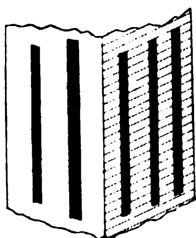


Fig. 239.

Observations en lumière convergente. — On tire aussi des caractères distinctifs des différents feldspaths de leur étude en lumière convergente. Comme l'angle des axes d'optiques s'y trouve souvent peu éloigné de 90°, l'on peut assez fréquemment observer les anneaux colorés au travers des sections perpendiculaires à la bissectrice obtuse presque aussi facilement qu'au travers de celles perpendiculaires à la bissectrice aigue, au moyen de lentilles très convergentes.

n_p, n_m, n_g, sont les trois axes d'élasticité, les deux bissectrices et la ligne moyenne. (On appelle aujourd'hui n_g, n_m, n_p, les trois indices de réfraction maximum, moyen et minimum).

On sait que l'on assimile la bissectrice aiguë des cristaux biaxes à l'axe optique des uniaxes. Or, ce dernier est la direction de propagation des ondes ordinaires ; quand il est positif, c'est que les ondes ordinaires sont celles qui se propagent le plus vite ; et comme l'indice de réfraction est inverse de la vitesse, on le note n_p. Dans les feldspaths, la bissectrice aiguë, comme on le verra dans les figures suivantes, est tantôt n_g, tantôt n_p.

Dans tous les plagioclases, la bissectrice positive n_g s'éloigne peu du plan normal à la zone pg^1. Dans l'albite, elle est inclinée d'environ 16° sur la normale à g^1, se relevant vers l'arête aiguë pg^1 de gauche. Dans l'oligoclase albite, elle se confond presque

avec cette normale. Dans les autres feldspaths tricliniques, partant du centre, elle tend vers l'arête pg^1 de droite, faisant dans l'anorthite un angle de plus de 40° avec la normale à g^1, en sorte que, pour observer les anneaux à travers une plaque normale à cette bissectrice, il faut, pour obtenir une plaque convenable, entamer l'arête aiguë pg^1 dans l'albite et l'arête obtuse pg^1 de droite dans l'anorthite.

L'axe d'élasticité n_p, bissectrice négative, oscille à droite et à gauche de la normale à h^1; dans l'andésire, il est à peu près parallèle à l'arête pg^1.

Les plaques perpendiculaires aux bissectrices peuvent aider beaucoup à la détermination des espèces en faisant connaître leurs différents modes de dispersion. Mais comme les roches doivent toujours être taillées en sections très minces, les colorations ne peuvent pas généralement s'y développer. M. Fouqué les utilise cependant en y observant les angles que font les lignes des foyers avec des lignes de repère qu'on peut toujours trouver sur toutes ces sections.

On a deux caractères :

1° La préparation étant observée en lumière convergente, on peut découvrir sur la plaque parmi tous les cristaux qui ont généralement des directions différentes ceux dont les sections se trouvent perpendiculaires à l'une des bissectrices. Une section est perpendiculaire à la bissectrice aiguë, si l'angle dont il faut faire tourner la platine ou porte-objet pour que les sommets des hyperboles, partant des bords du champ, forment la croix et reviennent sur le bord est 724°. Dans le cas contraire, on a affaire à une section perpendiculaire à la bissectrice obtuse.

Souvent on n'a pas besoin d'avoir recours à cette mesure; avec un peu d'habitude on juge de l'écartement des axes par la rapidité avec laquelle les hyperboles sortent du champ.

2° Autre caractère : En lumière parallèle, les sections perpendiculaires à la bissectrice aiguë sont moins éclairées que celles perpendiculaires à la bissectrice obtuse.

Quant à la détermination du signe optique n_g ou n_p des bissectrices, s'effectue au moyen des compensateurs, quartz prismatique, mica quart d'onde.

n_g est bissectrice aiguë dans albite, andésine, labrador.

n_p est la bissectrice aiguë dans microcline, anorthose, oligoclase, bytonnite, anorthite.

Extinction sur les sections perpendiculaires à n_p. — On prend sur les sections perpendiculaires à n_p comme ligne de repère la trace de g^1 ou de la macle de l'albite qui lui est parallèle. On observe les angles suivants :

Angles de la ligne des foyers avec l'arête pg^1	
Microcline	88°
Anorthose	88° 1/2
Albite	74°
Oligoclase	88°
Andésine	66°
Labrador	60°
Bytownite	57°
Anorthite	55° 1/2

Extinction sur les sections perpendiculaires à n_g. — Pour les feldspaths basiques, le repère adopté est encore la trace de la macle de l'albite; mais, pour les feldspaths acides, le plan perpendiculaire à n_g étant presque perpendiculaire à g^1, on ne voit pas cette trace; alors, on mesure les extinctions par rapport au clivage p, qui fait rarement défaut chez les feldspaths acides.

Angles de la ligne des foyers avec :

l'arête pg^1		avec la trace du clivage p	
Anorthite . . .	48°	Oligoclase . . .	3°
Bytownite . . .	42°	Albite.	19°
Labrador . . .	22°	Anorthose . . .	9°
		Microcline . . .	10°

N. B. — Au point de vue pratique, quand on fait des mesures,

on forme d'abord la croix ; elle correspond à l'extinction. L'on note la position de la platine ; ensuite, on remet l'oculaire, qu'on avait enlevé pour examiner par le procédé de von Lavaulx en lumière convergente le signe de la bissectrice et l'on fait coïncider le fil antéro-postérieur situé au foyer de l'oculaire avec le repère. On note la nouvelle position de la platine et l'on a l'angle cherché. Mais, pour que les mesures soient comparables, il faut toujours faire coïncider le plan des axes optiques et le repère cristallographique avec le même fil.

Directions des bissectrices et leurs signes dans les principaux feldspaths.

Albite. — Bissectrice aiguë $(\overset{+}{n_g})$, inclinée de (— 16° 1/2) sur la normale à g^1 et de 102° à droite sur la normale à p ; bissectrice obtuse $(\overset{-}{n_p})$, inclinée de 89° sur la normale à g^1 et de 71° sur normale à p. Dispersion autour de n_p : $\rho > v$; l'angle 2 V = 77°. D'après M. Fouqué les angles d'extinction valent 74° sur la section perpendiculaire à n_p et 19°30′ sur la section normale à n_g.

La figure 240 représente le plan des axes optiques n_p n_g dans un cristal d'albite, ABCD étant la section droite ACHL le plan g_1 de gauche, CDKL le plan h^1 antérieur.

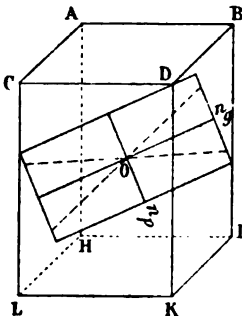


Fig. 240.

Oligoclase. — Ab_3 An_1 (rapports 1 : 3: 8,8). — Oligoclase normal de Des Cloizeaux.

Bissectrice aiguë $(\overset{-}{n_p})$ faisant 90° avec la normale à g^1, 91° avec la normale à p ; bissectrice obtuse $(\overset{+}{n_g})$ inclinée de 6° sur la normale à g^1 et de 80° sur la normale à p.

n_g est presque perpendiculaire à g^1. Dispersion autour de n_p : $\rho > v$; l'angle 2 V = 88°.

Dans l'oligoclase anomal à formule Ab_4 An_1, à rapports d'oxygène 1 : 3 : 9,33, l'angle 2 V est voisin de 90°.

n fait 94° avec la normale à p et 1° avec la normale à g^1;

n_p fait 96° avec la normale à p et 89° avec la normale à g^1.

Andésine. — Bissectrice aiguë $\binom{n_g}{+}$ faisant 17° avec la normale à g^1 et 69° avec la normale à p; bissectrice obtuse $\binom{-}{n_p}$ faisant 86° avec la normale à g^1 et 83° avec la normale à p.

Dispersion autour de n_p : $\rho > v$ angle 2 V = 88°.

Labrador. — Ab_1 An_1 appelé labrador proprement dit. Bissectrice aiguë $\binom{+}{n_g}$ inclinée de 31° sur la normale à g^1, de 54° sur la normale à p; bissectrice obtuse $\binom{-}{n_p}$ inclinée de 79° sur la normale à g^1, de 74° sur la normale à p.

Dispersion autour de n_p : $\rho < v$ et 2 V = 75°.

Dans le labrador appelé basique Ab_3 An_4, à rapports d'oxygène (1 : 3 : 6) n_g est incliné de 49° 1/2 sur la normale à p, de 37°2 sur la normale à g^1 : n_p l'est de 66° sur la normale à p, de 71° sur la normale à g^1.

Anorthite. — Dans celle de la somma, dont la composition correspond à Ab_1, An_{200}, M. Fouqué a observé les directions suivantes :

Bissectrice aiguë $\binom{-}{n_p}$ inclinée de 55° 1/2 sur la normale à p (001) et de 47° sur la normale à g^1 (010); bissectrice obtuse $\binom{+}{n_g}$ inclinée de 36°7′ sur la normale à p et de 50° sans doute sur la normale à g^1. 2 V = 78°.

Bytownite à densité 2,725. — Bissectrice aiguë n_p. Dispersion autour de n_p : $\rho < v$. Les extinctions sont de 57° sur la section perpendiculaire à n_p, de 42° sur la section normale à n_g.

L'angle des macles de l'albite et de la péricline sur la section normale à n_p est de 64° (M. Fouqué).

Labrador-bytownite, à densité variable de 2,698 à 2,71.

Teneur en silice environ 54. Bissectrice aiguë n_g inclinée de 65° environ sur la normale à p et de 71° sur la normale à g^1. $2V = 77°$; dispersion autour de n_p : $\rho < v$.

Extinction sur la section normale à $n_p = 58°\ 1/2$.

Extinction sur la section normale à $n_g = 33°$.

Angle des macles de l'albite et de la péricline sur la section normale à $n_p = 78°$.

On trouve souvent dans la même roche des petites régions qui renferment plusieurs espèces de feldspaths associées en groupes

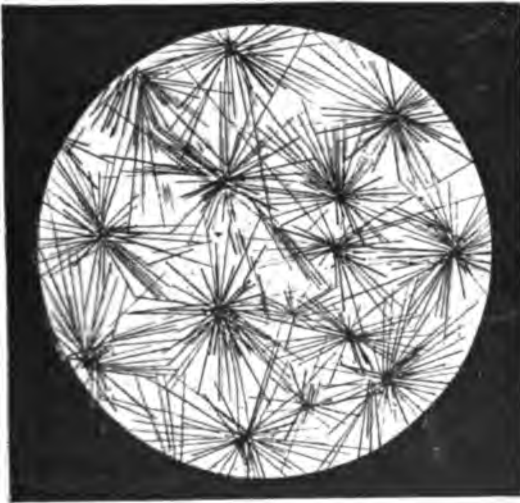


Fig. 241. — Reproduction de l'albite.

complexes, polysynthétiques, en zones, suivant deux ou plusieurs des lois qui président à leurs groupements.

Enfin, les figures suivantes représentent, vues au microscope, des sections minces, de masses des différents feldspaths reproduits



Fig. 242. — Reproduction de l'oligoclase.



Fig. 243. — Reproduction du labrador.

par MM. Fouqué et Michel Lévy, en suivant la méthode décrite plus haut pour la reproduction de l'orthose (fig. 241 à 244).



Fig. 244. — Reproduction de l'anorthite.

ESPÈCES JOUANT LE ROLE DES FELDSPATHS DANS LES ROCHES

Ce sont des silicates d'alumino-alcalins où les proportions d'oxgène contenues dans les protoxydes et dans l'alumine restent dans les proportions de 1 à 3, qui ne renferment que très peu ou même pas de magnésie, qui se trouvent associés avec l'amphibole et surtout avec le pyroxine dans des roches éruptives, où elles semblent remplacer en partie ou même en totalité les feldspaths.

Néphéline. — $4Na^2O$, $4Al^2O^3$; $9SiO^2$ ou peut-être mieux $Na^2OAl^2O^34SiO^2$; l'oxyde de fer remplace quelquefois un peu de la soude.

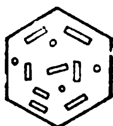
Forme : prisme hexagonal modifié parfois sur ses angles ou sur ses arêtes basiques $pb^1 = 136°\ 11'$.

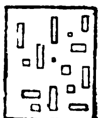
Clivages difficiles : *m*, *p*.

Éclat vitreux; souvent les cristaux sont nébuleux. Dureté 5,5; densité : 2,6 environ.

Au chalumeau la néphéline fond en verre bulleux assez difficilement; elle est soluble dans les acides en faisant gelée.

Au microscope, les plus petits cristaux bien conformés montrent des sections quadratiques ou hexagonales, des colorations assez vives en lumière polarisée parallèle dans les lames qui ne sont pas trop minces; souvent elles renferment des inclusions d'augite jaunâtre de Hornblende, verdâtre ou même d'apatite. D'autres se montrent comme semées de très petits prismes qui, à un plus faible grossissement, ressemblent à des traînées de poussière alignées parallèlement au contour des lames (fig. 245 et 246). L'apatite est en général plus aciculaire et la néphéline plus courte et plus large. Axe optique négatif. Indice de réfraction très faible.


Fig. 245.


Fig. 246.

Éléotithe ou pierre grasse. — Éclat gras dans la cassure, couleurs assez variées, verdâtres, rougeâtres, pâles.

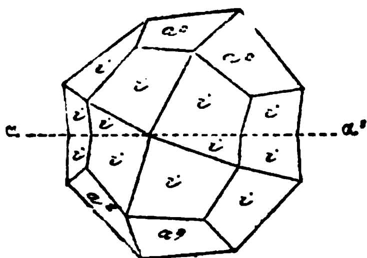
Elle renferme souvent des inclusions d'amphiboles ou d'ægyrine fibreuse, ou bien des matières vitreuses ou fluidales. Caractères géométriques et optiques de la néphéline. On rapporte à cette espèce la *Liebénérite* du Tyrol, qui ne contient pas de soude, mais de 2 à 4 o/o d'eau, la *Davyne*, qui renferme de 10 à 14 o/o de carbonate de chaux.

Amphigène. $K^2OAl^2O^34SiO^2$ (syn. Leucite ou grenat blanc). — Elle contient 2,15 potasse; 23,5 alumine; 55 de silice; les rapports d'oxygène y sont les mêmes que dans l'andésine 1 : 3 : 8. Longtemps l'amphigène ou grenat blanc était cité comme un exemple naturel de substance cristallisant en trapézoèdres a^2, les faces adjacentes qui entourent l'axe quaternaire faisant entre elles un angle de 131° 40′ qui est l'angle des faces a^2 dans le système cubique.

Elle n'est que pseudo-cubique.

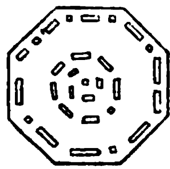
Il y a quelques années, vom Rath a trouvé entre les angles des

faces adjacentes des différences qui lui ont fait décomposer la forme de l'amphigène en deux autres dérivées d'un prisme quadratique (fig. 247) : l'une a^2, octaédrique, l'autre comprenant les faces notées ici i, i constituées par les douze faces d'un dioctaèdre ; les faces b^1 et celles du dioctaèdre étant distribuées symétriquement autour d'un axe quaternaire (hauteur du prisme). Depuis, des différences observées dans les angles des faces du dioctaèdre et la disposition des anomalies optiques ont fait regarder par Mallard les cristaux de cette substance comme ayant pour forme primitive


Fig. 247.

un prisme rhombique et comme composé de l'octaèdre rhombique b^1, au lieu du quadratique a^2 et de deux autres octaèdres également rhombiques a_3 ($b^{1/4}\, b^1 h^1$), e_3 ($b^1 b^{1/3}\, h^1$) entre lesquels se divise l'octaèdre i de la figure. Dans la notation de Miller ces symboles seraient (112) (211) et (121). Les angles principaux sont b^1b^1 132°53′ adj. b^1b^1 = 132°53 adj. latéralement a_3a_3 = 132°16′ en avant; e_3e_3 latéral 130°14′ adj. e_3e_3 = 131°47′ adj. en haut.

Généralement les gros cristaux sont constitués par deux demi-individus groupés suivant un plan e^1, qui serait la direction d'une face du dodécaèdre rhomboïdal, si le cristal était cubique. Les sections minces laissent apercevoir en lumière polarisée parallèle des stries sombres ou claires qui échangent leurs intensités lorsqu'on tourne la plaque et qui montrent les groupements complexes des lames intérieures. On distingue aussi au microscope de nombreuses inclusions d'augite, de néphéline, etc., disposées à la file les unes des autres parallèlement aux côtés des sections minces octogonales (fig. 248).


Fig. 248.

L'amphigène a pour dureté 5,5, pour densité 2,5, une cassure

conchoïdale, vitreuse, avec des traces de clivages nombreux. Elle est rarement incolore et limpide ; elle est souvent blanchâtre et quelquefois même altérée en une sorte de kaolin (Rocca Monfina), parfois d'un rouge incarnat. Elle est infusible au chalumeau, attaquable par l'acide chlorhydrique, sans faire gelée.

Reproduction de la néphéline et de l'amphigène. — En chauffant dans un tube d'acier garni de platine pendant deux ou trois jours à 500° du mica muscovite de Moos, Norvège, pulvérisé avec 1/3 ou 1/4 de potasse et 20 parties d'eau, MM. Charles et Georges Friedel ont obtenu des lamelles hexagonales ou rectangulaires d'une néphéline potasso-sodique. En chauffant dans ce tube 1 de mica et 1/2 de silice calcinée, ils ont produit des cristaux d'orthose, des prismes hexagonaux de néphéline et de beaux cristaux biréfringents, à taxe négatif, d'amphigène.

Hydronéphélite. — A la suite de l'éléolithe on peut placer comme produits d'altérations l'hydronéphélite de Clark et Diller $Na^2H\ Al^3Si^3O^{12} + 3$ à 9 ou $3(Na^2, H^2)O3Al^2O^363iO^2 + 6$ à 9 qu'on rencontre dans la syénite éléolithique de Lichtfield, matière en agrégats pailletés épigéniques sur l'éléolithe. Elle montre trois directions de clivage et les caractères optiques d'une substance uniaxe. n_e-n_o = 0,012 environ. Elle a les indices de réfraction et la biréfringence de la natrolithe; mais celle-ci est à deux axes optiques.

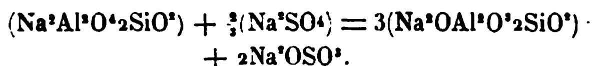
Densité environ 2,26. Elle fait gelée dans l'acide chlorhydrique. La *Ranite* de Brögger ne paraît différer de l'hydronéphélite que par la substitution d'une certaine quantité de chaux à la soude.

Sodalithe : $(3Na^2O,3Al^2O^3,12SiO^2,2NaCl)$. — Silicate d'alumine et de soude combiné à du chlorure de sodium. Cristaux vitreux, incolores, d'un vert d'herbe, d'un bleu d'azur, perdant au feu cette couleur, fusibles en verre incolore; solubles dans les acides, en faisant gelée. Dureté : 5,5 ; densité : 2,20. Forme : le dodécaèdre rhomboïdal (fig. 157) qui prend l'apparence d'un cristal du système hexagonal par déformation. Clivage : parallèles aux faces du dodécaèdre rhomboïdal. Pulvérisée avec du sel de phos-

phore et de l'oxyde de cuivre, la sodalithe colore en bleu la flamme du chalumeau.

Au microscope, ordinairement, elle a des contours mal définis et prend des teintes très pâles ou incolores en lames minces. L'indice de réfraction est faible, d'environ 1,483.

Haüyne. — Silicat d'alumine, de chaux et de soude, combiné à du sulfate de soude. On lui attribue la formule :



$$(Na^2Al^2O^4 2SiO^2) + \frac{2}{3}(Na^2SO^4) = 3(Na^2OAl^2O^3 2SiO^2) + 2Na^2OSO^3.$$

Les cristaux ordinairement bleus, quelquefois incolores, appartiennent au système cubique et se clivent suivant les faces du dodécaèdre rhomboïdal (fig. 249) ; ils sont difficilement fusibles au chalumeau ; fondus sur le charbon avec du carbonate de soude, ils donnent du sulfure de sodium qui dégage de l'hydrogène sulfure, lorsqu'on le traite par de l'eau acidulée. Ils font gelée avec les acides. L'indice de réfraction est de 1,496 ; la densité 2,28 à 2,4 ; la dureté 5,5.

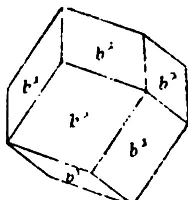


Fig. 249.

La noséane ne diffère de l'haüyne que par ce qu'elle ne contient pas de chaux et parce qu'elle a une couleur plus grisâtre.

L'haüyne et la noséane qui jouent un certain rôle dans les laves et dans plusieurs leucitophyres, phonolithes, ont pour caractère spécial au microscope une disposition des parties claires et obscures dans leurs cristaux à contours quadratiques, hexagonaux, souvent dissymétriques suivant la direction des sections qu'on y pratique ou la régularité plus ou moins grande de leur conformation. On y observe des sortes de lignes striées, rectangulaires sur les faces du cube ou disposées à 60° les unes des autres autour des axes ternaires qui tiennent à des traînées de matières vitreuses ou d'oxydes de fer.

Lapis-lazuli. — Composition et propriétés chimiques de la noséane. Matière d'un beau bleu d'azur, souvent plus ou moins char-

gée de petits cristaux de pyrite d'un jaune d'or (lapis de l'Orient) ou d'un bleu plus pâle, ayant une densité et une dureté voisines de celles de l'haüyne, de formes cubiques, à clivages b^1 imparfaits. On attribue à un sulfure de sodium et de fer qu'il renferme la coloration en bleu d'outremer de ce silicate. Le lapis est opaque; en lames très minces, il laisserait voir une certaine action sur la lumière polarisée.

CHAPITRE XXIX

ZÉOLITHES

Zéolithes. — Silicates hydratés d'alumine et de bases alcalines ou alcalino-terreuses, attaquables par les acides, qui en séparent de la silice gélatineuse, floconneuse ou pulvérulente et qui au chalumeau se gonflent en bouillonnant, la plupart en fondant. Dureté de 5 à 5,5.

On peut les rapprocher des feldspaths auxquels on ajouterait de l'eau. Ces silicates ne contiennent pas de magnésie et ils offrent comme rapport de l'oxygène des protoxydes à celui de l'alumine le nombre 1 : 3.

Quelques-uns perdent un ou plusieurs centièmes de leur poids dans l'air sec et peuvent reprendre dans l'air humide l'eau qu'ils ont perdu. M. Damour a observé même que l'eau perdue à des températures de plus de 100° peut rentrer dans la pierre quand on la replace dans une atmosphère humide. La mésotype, par exemple, abandonne presque toute son eau à 240° et se réhydrate à l'air libre. Plusieurs ne sont déshydratées complètement qu'au rouge sombre ou même au rouge cerise.

On peut les diviser en zéolithes : 1° prismatiques; 2° rhomboédriques; 3° cubiques.

1° **Prismatiques** avec clivage facile, à éclat nacré :

Stilbite $(Ca,Na^2)OAl^2O^36SiO^2$, 6 aq ou $(Ca,Na^2)Al^2Si^6O^{16}$ + 6 aq.

Heulandite $(Ca,Na^2)OAl^2O^36SiO^2$ + 5 ou 6 aq.

Epistilbite $CaOAl^2O^36SiO^2$ + 5 aq ou $CaAl^2Si^6O^{16}$, 5 aq.

Brewstérite $(Sr,Ba,Ca)O6SiO^2$ 5 aq ou $(Sr,Ba,Ca)Al^2Si^6O^{16}$, 5 aq.

Mordénite $(K^2,Na^2,Ca)O10SiO^2$, 7 aq.

Avec clivages moins distincts :

Thomsonite $(Ca,Na^2)OAl^2O^32SiO^2$5 aq ou $(Ca,Na^2)Al^2Si^2O^8$, 5 aq.

Mésotype $Na^2OAl^2O^33SiO^2$ 2 aq ou $Na^2Al^2Si^3O^{10}$, 2 aq.

Edingtonite $BaOAl^2O^33SiO^2$ 3 aq ou $BaAl^2Si^3O^{10}$, 3 aq.

Scolésite $CaOAl^2O^33SiO^2$ 3 aq ou Ca $Al^2Si^3O^{10}$, 3 aq.

Mésolite *idem*.

Laumontite $CaOAl^2O^34SiO^2$, 4 aq ou $CaAl^2Si4O^{12}$; 3 aq.

Harmotome $(Ba,K^2)Al^2O^35SiO^2$, 5 aq ou $(Ba,K^2)Al^2Si^5O^{14}$, 5 aq.

Christianite $(Ca,Na^2,K^2)OAl^2O^34SiO^2$ + 4 aq ou (Ca,Na^2,K^2) $Al^2Si^4O^{12}$, 4 aq.

2° Rhomboédriques.

Chabasies $CaOAl^2O^3m\ SiO^2$, p aq ou $(Ca,K^2)Al^2Si^mO^{2m+4}$ + p aq.

3° Cubiques ou speudocubiques :

Gismondine $(Ca,K^2)OAl^2O^3mSiO^2$, 4 aq ou $(Ca,K^2)Al^2Si^mO^{2m+4}$, 4 aq.

Faujasite 2 $(Ca,Na^2)O2Al^2O^39SiO^2$, 18 aq ou $Ca^2Na^4Al^4Si^9O^{26}$, 18 aq.

Analcime $Na^2OAl^2O^34SiO^2$2 aq ou $Na^2Al^2Si^4O^{12}$, 2 aq.

On tend aujourd'hui à regarder 2 aq comme la proportion d'eau que les zéolithes ne peuvent perdre sans changer de constitution, le reste de l'eau étant généralement mobile.

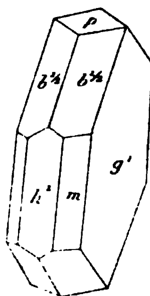


Fig. 250.

Stilbite. *Orthorhombique*. — Les anomalies optiques observées sur les lames de clivage font supposer que le véritable type du système cristallin est monoclinique. Géométriquement, la stilbite est othorhombique. *mm* = 94°16 $p6^{1/2}$ 132° *ph'* 90° (fig. 250).

Les faces g' et h' sont striées verticalement. Les cristaux sont allongés suivant l'axe de la zone verticale et aplatis suivant g^1. Ils se clivent suivant g^1.

Les groupements flabelliformes ont le plan de symétrie pour plan de jonction des cristaux qui les composent.

Le plan des axes optiques est aussi g^1; la bissectrice aiguë négative est à peu près verticale et elle fait de 0° à 3° avec l'axe vertical; au microscope on l'observe en lamelles qui montrent de nombreux croisements intérieurs ou en aiguilles dont la direction d'allongement est négative et qui ont leur maximum d'extinction à 8°. Au chalumeau, la stilbite fond en verre bulleux, avec gonflement. Dans l'acide chlorhydrique bouillant, elle se dissout en déposant de la silice pulvérulente.

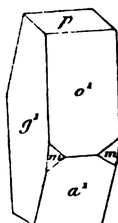


Fig. 251.

Heulandite. *Monoclinique*. — Les cristaux sont des prismes obliques rectangulaires, présentant la face g^1 de clivage facile, une face prise pour base p, deux petites facettes latérales m choisies pour pans, enfin, deux faces qui s'inclinent, l'une en arrière appelée a^1, l'autre en avant, qui est o^1 (fig. 251).

$$mm \quad 136°4 \quad pa' \; 114° \quad po' \; 116°20.$$

Le plan des axes à peu près parallèle à p est perpendiculaire à g^1. La bissectice aiguë positive est également normale à ce plan et la dispersion est par conséquent croisée. 2E peut atteindre 55°. $n_g = 1{,}505$ $n_m = 1{,}499$ $n_p = 1{,}498$ (Michel Lévy et Lacroix). Au chalumeau et avec l'acide chlorhydrique, mêmes caractères que pour la stilbide. La biréfringence y est, comme on le voit, très faible.

Epistilbite. Monoclinique, très voisin du système orthorhombique.

$$mm \quad 136°10' \quad a^3a^3 \quad 109°46' \text{ sur } p.$$

Plan des axes g^1; bissectrice aiguë négative inclinée de 9° sur l'axe vertical.

$$2\,E = 61° \text{ à } 83° \quad \rho < v.$$

Au microscope on observe une direction d'allongement optiquement positive.

MM. Michel Lévy et Lacroix ont observé $n_g - n_p$ 0,01.

M. Descloizeau a trouvé $n_m = 1{,}502$.

Mésotype. — Orthorhombique.

$mm = 91°$
$b^{1/2}\ b^{1/2}$ 143°20′ en avant
147°40′ de côté
126°40′ sur *p*.

Les cristaux s'allongent suivant l'axe vertical; ils se clivent suivant les faces *m*.

Le plan d'axes est g^1; la bissectrice aiguë positive est normale à *p*.

Au chalumeau, elle se gonfle un peu et fond; elle fait gelée dans l'acide chlorhydrique. On la rencontre en cristaux ou en agrégats cristallins fibreux allongés suivant l'axe vertical dans les cavités des roches basaltiques.

Scolésite. *Clinorhombique.* — *mm* 91°20′; *ph′* 90°30 $md^{1/1}$ 116°27 $mb^{1/2}$ 115°24′.

Les cristaux se clivent suivant les faces *m* et se groupent deux à deux suivant h'. M. Luedecke a fait observer que l'un des deux individus du groupe est de la scolésite et l'autre une mésolite, en sorte que les deux individus du groupe ne s'éteignent pas symétriquement par rapport au plan de jonction.

Dans la scolésite, la bissectrice négative fait un angle de — 17° avec h^1 et le plan des axes est perpendiculaire à g^1. Elle est pyroélectrique. La direction d'allongement *mm* est négative.

Des Cloizeaux a trouvé $n_m = 1{,}5$, MM. Michel Lévy et Lacroix une double réfraction très faible $n_g - n_p = 0{,}007$ $\rho < v$. Au chalumeau, la scolésite blanchit, fond en verre bulleux en se gonflant et fait gelée avec l'acide chlorhydrique. Comme il a été dit plus haut, on distingue de la scolésite une matière qui a la même composition, mais que ses extinctions par rapport au plan h^1 forcent à regarder comme triclinique et qu'on nomme *mésolite*.

Laumontite. — *mm* 86°16 *ph'* 111°14 *pa'* 123°5. Clivage facile suivant g^1, moins facile suivant h^1. Les cristaux s'allongent verticalement et se groupent suivant h^1. La bissectrice aiguë négative est inclinée d'environ — 70° sur l'axe vertical; le plan des axes est parallèle à g^1. La laumontite se présente en agrégats d'individus bacillaires ou fibreux, dont l'allongement est optiquement positif. L'extinction ne dépasse pas 45° dans les différentes sections. Souvent les lames minces altérées n'agissent plus sur la lumière polarisée.

$$2E_3 = 52°24;\quad 2E_v = 56°15';\ \rho < v$$
$$n_g = 1{,}523 \quad n_m = 1{,}524 \quad n_p = 1{,}513$$
$n_g - n_p = 0{,}012$ d'après MM. Michel Lévy et Lacroix.

Harmotome. *Monoclinique.* — *mm* = 120°1 *ph'* 124°50 *pa'* 90 pe^1 = 134°42'. Les cristaux se clivent suivant g^1 et *p* (*p* moins facile). Les cristaux les plus simples sont formés de deux individus enchevêtrés l'un dans l'autre, qui s'accolent suivant les faces *p* et a^1, plus ou moins régulièrement; des stries dirigées suivant l'axe vertical de chacun des cristaux mettent en évidence ce groupement complexe des quatre cristaux découvert par Des Cloizeaux à l'aide des caractères optiques. Enfin, deux groupes de ce genre se réunissent à 90° l'un de l'autre suivant e^1 en se pénétrant, donnant lieu à un groupement cruciforme; la surface de contact est irrégulière et dentelée. Le plan des axes et la bissectrice aiguë étant perpendiculaires à g^1, la dispersion est croisée. Dans le plan de symétrie, le plan moyen des axes fait environ 25° 1/2 avec la normale à *p* et environ 30° avec la normale à h^1. Sur les sections parallèles à g^1, quatre secteurs et quatre directions d'extinction.

$n_g - n_p = 0{,}005$ d'après MM. Lévy et Lacroix.

$n_m = 1{,}516$ d'après M. Des Cloizeaux. L'harmotome fond assez difficilement en verre semi-transparent; elle donne avec HCl de la silice pulvérente.

Christianite. — Elle diffère de l'harmotome en ce qu'elle ne renferme pas de baryte.

Chabasie. — Rhomboèdre de 94°46′ souvent combiné au scalénoèdre b^{13}, dont les faces font 103°28′ aux arêtes aiguës et 174°5 aux arêtes obtuses. La figure 252 représente le rhomboèdre b^{13} combiné au rhomboèdre primitif p, celui-ci très peu développé. Les faces du rhomboèdre b^{13} font avec p un angle de 175°39′; elles sont souvent marquées de stries parallèles à leurs côtés et présentent des lignes d'extinction symétriques par rapport aux diagonales inclinées. De nombreux enchevêtrements intérieurs ont fait douter du système cristallin de la chabasie. M. Becke regarde les rhomboèdres comme composés de six individus tricliniques.

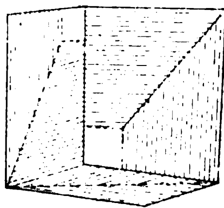


Fig. 252.

L'axe ternaire du rhomboèdre est optiquement négatif. Sur a^1 on voit six secteurs qui s'éteignent suivant les traces de leurs plans de jonction.

La chabasie fond en émail bulleux assez difficilement; elle est attaquable par l'acide chlorhydrique.

La **Lévyne** cristallise en rhomboèdres de 106°5′ et son axe optique est négatif. C'est un silicate d'alumine et de chaux hydraté.

La **Gmélinite** s'offre aussi en rhomboèdres de 112°50′; elle renferme de la soude et de la chaux. Son axe optique est positif dans certaines variétés, négatif dans d'autres.

Gismondine. *Quadratique.* — b^1b^1 92°30′ sur p, cet octaèdre a ses faces peu lisses et résultant de l'agrégation des cristaux enchevêtrés les uns dans les autres : souvent la gismondine se présente en mamelons fibreux. Au chalumeau elle se gonfle, dégage une lueur phosphorescente et fond en émail blanc. Elle fait gelée avec l'acide chlorhydrique.

Faujasite. *Cubique.* — Octaèdres réguliers souvent maclés (transposés). Elle se gonfle au chalumeau et fond en émail blanc; elle est décomposée par l'acide chlorhydrique.

Analcime. *Cubique.* — Formes dominantes : le cube, le cubo-trapézoèdre et un trapézoèdre (p, pa^2, a^2).

Si on observe, entre deux nicols croisés, une section parallèle à une face du cube, on y observe une plage centrale, un axe entouré de quatre régions marginales à deux axes, ces deux axes ayant leur plan perpendiculaire aux arêtes du cube. On croirait le cube composé de six champs optiques, en forme de pyramides qui ont pour bases les faces et pour sommet commun le centre du cube. Mallard regarde le cristal comme formé en effet d'éléments orthorhombiques.

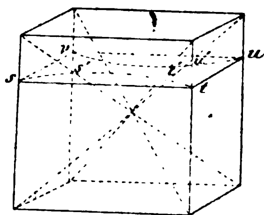


Fig. 253.

La figure 253 a pour but de faire comprendre comment le cube d'analcisme, d'après Mallard, est en réalité composé de six pyramides ; le plan *vstu* parallèle à la base d'une pyramide montre aux extrémités des diagonales de ses faces la division de cette base en régions marginales *uu't*, *uu'v*, *vs's*, *ss't*.

La figure 254 est la coupe de la figure 253, suivant *tuvs* observée en lumière polarisée.

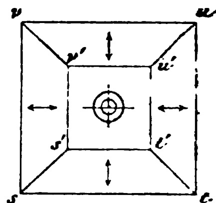


Fig. 254.

L'échauffement dans l'eau ou dans un bain de paraffine diminue l'énergie de la double réfraction, qui peut même disparaître complètement dans une atmosphère de vapeurs, d'après Klein, au dessus de 250°.

Au chalumeau elle se gonfle et fond en verre transparent ; elle est décomposée par l'acide chlorhydrique avec dépôt de silice.

M. de Schulten, en chauffant dix-huit heures du silicate de soude à 180° dans un tube de verre, a reproduit de l'analcime en cristaux identiques à ceux de la nature. MM. Ch. Friedel et Sarrasin, en chauffant dans un tube de verre scellé les éléments de l'albite avec de l'eau, ont produit une analcime identique géo-

métriquement à celle de la nature, mais optiquement isotrope.

On peut rattacher aux zéolithes, bien qu'elle ne contienne pas d'alumine, à ceux de ses gisements analogues, l'apophyllite.

Apophyllite. — $CaO2SiO^2 + \frac{1}{4} KFl + 2aq$. Densité : 2,35; dureté : 4,5 à 6, pseudoquadratique (clinorhombique) pa^1 119°28′; a^1a^1 58°56 (sur p); ma^1 128° (fig. 255 et 256); clivage p parfait, m nacré et imparfait, signe optique + et anomalies très variées.

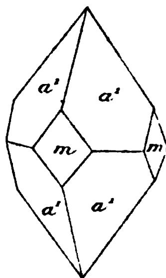


Fig. 255.

Dans les lames d'A. de Zacatecas, entre deux nicols croisés, on observe une région centrale et des bandes marginales, celles qui correspondent à m sont presque un axe; parallèlement à h^1, on voit des coins prismatiques à deux axes. Les cristaux sont souvent cannelés verticalement sur les faces m.

La croix noire traverse des anneaux alternativement blancs et d'un violet foncé. Certains cristaux ne donnent qu'une croix grisâtre sur un fond violet. L'axe optique est parfois positif à une extrémité, négatif à l'autre. Incolore blanc grisâtre, bleuâtre, rose, verdâtre. Dureté : 4,5 à 5; densité : 2,36 à 2,39. L'A. donne de l'eau dans le tube fermé, s'exfolie au chalumeau, fond en émail blanc; elle est soluble dans HCl avec dépôt de silice. Elle forme des druses sur les parois des cavités des roches amygdaloïdes ou des filons.

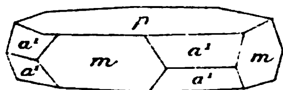


Fig. 256.

Sarcolithe $R^3Al^2Si^3O^{12} = 3ROAl^2O^33SiO^2 (R = Ca, Na^2)$. — Quadratique ($pa^1 = 157°18′$) plus ou moins transparente; axe optique positif. Éclat vitreux; incolore, ou rose de chair. Dureté : 6; densité 2,93; fusible en émail blanc; fait gelée dans l'acide chlorhydrique.

CHAPITRE XXX

LES SCAPOLITHES

Wernérites. — Silicates d'alumine de chaux, de potasse, de soude, qu'on peut rapporter à trois types différents :

Méionite $6(Ca,Na^2,K^2)O\ 4\ Al^2O^3 9SiO^2$, ou $(Ca^6Al^8Si^9O^{36})$.

Paranthine $3(Ca,Na^2,K^2)O 2Al^2O^3 6SiO^2$, ou $(Ca,Na^2,K^2)^3Al^4Si^6O^{21}$.

Dipyre $3(Ca,Na^2)O 2Al^2O^3 9SiO^2$, ou $(Ca,Na^2)^3Al^4Si^9O^{27}$.

Dans un grand nombre, l'analyse accuse une perte au feu de 1 à 3 centièmes, qui tiendrait à une petite teneur en chlorure de sodium.

Dans toutes les substances de ce groupe, on observe les mêmes propriétés géométriques et physiques. Les formes dérivent d'un prisme quadratique où dominent les faces p, h', m, a^1 $pa^1 = 148°9'$; $a'h' = 121°51'$ (méionite et paranthine, d'après M. Des Cloizeaux; $a'h' = 122°2'$ (dipyre). Les clivages sont toujours parallèles à m; dans les paranthines on observe des clivages moins nets h^1.

L'axe optique est toujours négatif et sur une face parallèle à cet axe, le grand axe de l'ellipsoïde isotherme est aussi parallèle à cet axe.

La *méionite* du Vésuve a une densité 2,73; ses cristaux ont l'éclat vitreux; quelquefois ils sont encroûtés de calcaire; ils ont des faces plus ou moins planes; ils fondent au chalumeau et sont décomposés par l'acide chlorhydrique.

Les indices de réfraction sont : 1,594 à 1,597 pour le rayon ordinaire, 1,558 à 1,561 pour l'extraordinaire, en lumière jaune, Dx.

Paranthine. — L'éclat est souvent gras, plus ou moins nacré sur les faces de clivage. Les couleurs varient du gris au jaunâtre, au verdâtre, au bleu de ciel (*glaucolithe*). Dureté : 5 à 6; densité : 2,63 à 2,79.

Les cristaux atteignent quelquefois des dimensions considérables. Ils sont moins facilement fusibles que ceux de méionite et moins facilement attaquables par l'acide chlorhydrique.

Dipyre. — Les cristaux sont limpides; mais souvent ils s'altèrent. Ils ont l'éclat vitreux, quelquefois un peu soyeux. Ils sont blancs, quelquefois verdâtres. Leur densité est de 2,646 à 2,68. Ils fondent avec bouillonnement et sont difficilement attaquables par les acides. On doit à M. Des Cloizeaux la découverte des cristaux de Pouzac, qui ont permis de mesurer les angles des pyramides qui coiffent les extrémités des prismes, $n_o = 1.558$; $n_e = 1,543$ en lumière rouge, Dx. M. Des Cloizeaux a rattaché au Dipyre la couseranite, dont les cristaux tantôt incolores, tantôt noirs ou d'un bleu indigo en petits fragments, sont quelquefois très abondants dans les calcaires et les roches micamorphiques des environs de Pouzac. La coloration noire paraît tenir à une matière charbonneuse.

Dans toutes les espèces de ce groupe l'allongement est parallèle à l'axe de la zone mh^1, ou axe optique qui est négatif.

Mélilite (*Humboldtilite*). $6(Ca,Mg)O(Al^2,Fe)O^3 5SiO^2$ ou $(Ca,Mg)^6(Al^2,Fe^2)Si^5O^{19}$. — Substance quadratique $p b^{1/2} = 147°15$, clivage *p* parfait dans la humboldtilite. Axe optique négatif. Indice de réfraction moyen 1,668. Dureté : 5.5; densité : 2,9. Éclat vitreux. Jaune, parfois brune. Au chalumeau, la humboldtilite fond en verre jaunâtre; la mélilite brune en verre noir (manganésifère). Elle est soluble en gelée dans HCl.

Gehlénite. $3CaOAl^2O^3 2SiO^2$. — Quadratique : $pa^1 = 159°12'$; axe optique négatif. Densité : 2,9 à 3; dureté : 6. Indice de réfraction moyen 1,668. Éclat résineux, gris, brunâtre verdâtre. Au chalumeau, elle fond en verre grisâtre. Elle est soluble en faisant gelée dans l'acide chlorhydrique.

Émeraude. — Silicate d'alumine et de glucine $= 3GlOAl^2O^3 6SiO^2$ ou $GlAl^2Si^6O^{18}$. L'émeraude cristallise en prismes hexagonaux, quelquefois terminés par des bases, souvent plus ou moins chargés de facettes, dont l'ensemble donne des pyramides hexago-

nales régulières $pa' = 135°4$ $p6' = 150°3$ $p6^{1/2} = 130°57'$. Des plaques perpendiculaires à l'axe du prisme montrent en lumière convergente les anneaux colorés circulaires et la croix noire des cristaux optiquement uniaxes et l'axe optique est négatif. Les indices de réfractions sont dans les belles émeraudes vertes $n_o = 1,584$ $n_e = 1,578$, Dx.

Il y a souvent dans le béryl et plus souvent encore dans l'émeraude verte des anomalies optiques qui fait regarder par **Mallard** la symétrie optique véritable de l'émeraude comme n'étant que pseudo-hexagonale; mais le plus souvent les régions bien pures, non fibreuses, sont optiquement comme géométriquement uniaxes.

L'émeraude a pour densité : 2,67 à 2,78; pour dureté : 7,5 à 8. Elle est quelquefois limpide et incolore; elle est blanche ou d'un jaune verdâtre dans les chrysolites à éclat vif, d'un vert d'asperge, d'un vert d'huile, d'un jaune de cire ou de miel, roussâtre dans le biryl; d'un vert de mer, dans l'aigue-marine; d'un vert d'herbe, d'un vert dit émeraude dans les belles pierres de la joaillerie, qui sont les émeraudes proprement dites.

Au chalumeau, l'émeraude fond difficilement sur les bords en émail bulleux. Elle est inattaquable par les acides. L'émeraude verte de Muso colore le borax et le sel de phosphore en vert, à cause du chrome qu'elle contient. Elle renferme aussi souvent un peu de matière charbonneuse. Les émeraudes vertes se rencontrent surtout dans un micaschiste ordinairement noir, en Égypte, dans le Tyrol, aux environs de Nantes, en Sibérie, à Takowaja. L'émeraude surtout à l'état de béryl est quelquefois associée à la topaze. A Muso, elle est disséminée avec pyrites, quartz, parisite, dans les veines dolomitiques qui traversent un calcaire crétacé coloré en noir par de l'anthracite.

M. Hautefeuille a reproduit l'émeraude en plaçant dans un creuset de platine 11gr,506 de silice, 3,58 d'alumine, 2,64 de glucine, recouvrant le mélange de 92 grammes de molybdate acide de lithine, et maintenant 24 heures le creuset au rouge sombre.

Phénacite. — Silicate de glucine $2GlO,SiO^2$ ou Gl^2SiO^4 subs-

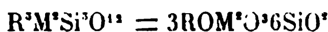
tance rare transparente, à éclat vitreux, assez vif, qui cristallise en **rhomboèdres** de 113°36', modifiés par b^1, l^2, d^1, parfois 1/2 d^2 (**hémiédrie** à faces parallèles; cassure conchoïdale. Densité : 2,96; **dureté** : 7,5 à 8. Infusible, insoluble dans les acides. La phénacite **est optiquement** positive.

M. Hautefeuille l'a reproduite en employant le vanadate alcalin **de lithine** comme agent minéralisateur et ajoutant un excès de lithine. Il faut maintenir pendant quinze jours la température du **creuset** entre 600 et 700°.

Euclase $H^2Gl^2Al^2Si^2O^{10}$ ou $3(H^2,Gl)OAl^2O^3 2SiO^2$. — Cristallise **dans le** système monoclinique.

$mm = 144°40$ ph' 100°16 $e'g^1$ 108°9 $a'h'$ 130°51'.

Plan des axes optiques g^1. — Bissectrice aiguë, positive parallèle à a^1 ; $n_g = 1,671$; $n_m = 1,6553$; $n_p = 1,652$ en lumière jaune, Dx. $2V = 49°37'$. Clivages g^1 très faciles : a^1 et h^1 difficiles. Densité : 3,089 à 3,1 ; dureté : 7,5. Éclat vitreux tendant au nacré sur g^1. Incolore, vert pâle, vert émeraude, bleu plus ou moins clair. Transparente. Difficilement fusible en émail blanc. Inattaquable aux acides.



CHAPITRE XXXI

FAMILLE DES GRENATS

Grenats. — Silicates d'alumine, de fer, de manganèse, de chrome, de chaux, de magnésie, dont le type chimique peut se représenter par la formule :

$$R^3M^2Si^3O^{12} = 3ROM^2O^3 6SiO^2$$

ou $R = Ca, Mg, Mn, Fe$; $M^2 = Al^2, Fe^2, Mn^2, Cr^2$.

Les cristaux en général presque dépourvus de clivages nets ont

des formes géométriquement cubiques, où dominent les faces b^1, a^2, quelquefois a^1, parfois b^2, $b^{3/2}$, rarement p. On les divise d'après leur composition qualitative en :

				Densité
Grenats	aluminocalcaires	$3CaOAl^2O^33SiO^2$	grossulaires	3,427
—	aluminomagnésiens	$3MgOAl^2O^33SiO^2$	pyrope	3,7 à 3,8
—	aluminoferreux	$3FeOAl^2O^33SiO^2$	almandin	3,9 à 4,2
—	aluminomanganeux	$3MnOAl^2O^33SiO^2$	spessartine	3,8 à 4,2
—	ferricocalcaire	$3CaOFe^2O^33SiO^2$	mélanite	3,6 à 4
—	chromicocalcaire	$3CaOCr^2O^33SiO^2$	ouwarowite	3,4 à 3,5

Il ne serait pas facile de trouver un grenat répondant exactement à l'une de ces formules. Presque toujours les grenats sont des mélanges de ces divers silicates.

Optiquement, un certain nombre de grenats montrent l'inertie absolue des cristaux cubiques. La plupart se comportent, au contraire, en lumière polarisée, comme des cristaux à deux axes.

Au travers de chacune des faces des dodécaèdres rhomboïdaux d'ouwarowite, on observe en lumière polarisée convergente des lemniscates, dont la ligne focale est parallèle à la grande diagonale de la face du rhombododécaèdre, les axes optiques étant perpendiculaires aux faces du cube. Mallard regardait ces cristaux comme formés de 12 pyramides OABCD qui ont leur sommet commun S au centre et pour bases les faces du cristal (fig. 257). Les axes optiques font entre eux un angle de 90°. Il en est de même des pyrénéites qui semblent un mélange de grossulaire et de mélanite.

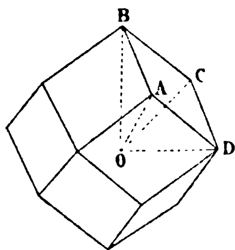


Fig. 257.

Dans l'aplome, variété de mélanite, chacune des faces du dodécaèdre rhomboïdal se divise au point de vue optique en quatre secteurs, dont chacun possède son système de courbes isochromatiques. Dans les topazolithes, autre variété de mélanite, les quatre secteurs précédents ne sont plus centrés, les 48 cristaux paraissent appartenir au système anorthique.

Au microscope, les lames minces paraissent incolores ou peu colorées. L'indice de réfraction est de 1,722 dans l'almandin, d'après M. Des Cloizeaux. La biréfringence ne dépasse pas 0,005 (M. Lacroix) quand elle est visible. On rencontre un grand nombre de grenats cubiques optiquement, comme géométriquement. La dureté des grenats est en général supérieure à 7, c'est-à-dire à celle du quartz Ils sont très différemment fusibles; ils ne deviennent vraiment attaquables par les acides qu'après calcination.

Grossulaire. — Blanc, jaunâtre, couleur de la groseille à maquereau; rougeâtre foncé à Traverselle, jaune de miel dans le Valais, brun cannelle, rouge hyacinthe, couleur du sucre candi, roux dans l'*Essonite* de Ceylan. Facilement fusible au chalumeau.

Pyrope.— Escarboucle. L'escarboucle de Bohème contient 4,17 0/0 de protoxyde de chrome. Rouge hyacinthe, fonge, rouge de sang, tendant à l'orange, pyrope proprement dit, de Bohème. Au chalumeau le pyrope rouge devient vert noirâtre à une température élevée; il reprend sa couleur à froid. Il est très difficilement fusible.

Almandin. — Rouge de sang et transparent avec une pointe de violet; à la lumière d'une bougie ou du gaz, la couleur tourne souvent à l'orangé, ce qui les déprécie (grenat noble, syrian). Beaucoup sont d'un rouge brun et peu translucides (grenats communs). Ils sont quelquefois striés et montrent par transparence de jolies astéries. Ils sont facilement fusibles en verre magnétique.

Spessartine. — Jaune au Spessart, brun rougeâtre à Haddam. Fusibles au chalumeau en verre noir; lentement attaquables par HCl.

Mélanite. — Noir de velours dans les *mélanites* des tufs volcaniques, jaune orangé dans la *topazolithe*, *vermeille* des lapidaires; jaune dans la *colophanite*, verdâtre ou jaunâtre dans l'*aplome*, d'un beau vert d'herbe avec éclat très vif dans le grenat dit *demantoïde*. Fusibles en globules magnétiques.

Ouwarowites. — D'un beau vert; difficilement fusibles; ils accompagnent le fer chromé.

Idocrase. — $18MO.4M^2O^3.15SiO^2$, M étant Ca,Fe,Mg,K^2,Na^2,Mn, ou même H^2 et M^2 pouvant être Al^2,Fe^2.

Les formes dérivent d'un prisme quadratique, où dominent les faces p, m, h^1, $b^{1/2}$, a^1a_3 ($p\,b^{1/2} = 142°47'$). Clivages p, m, difficiles.

Propriétés optiques. — Axe optique négatif. Indice de réfraction moyen 1,719 à 1,722. Des anomalies optiques assez fréquentes ont fait considérer la symétrie de ces cristaux comme optiquement clinorhombique. Grand axe de l'ellipsoïde isotherme vertical. Couleurs, vert bouteille, jaune, brune, rarement bleue. Poussière blanche. Allongement des cristaux suivant l'axe optique négatif. Dureté : 6,5 ; densité : 3,35 à 3,45 ; après fusion : 2,45. L'idocrase forme souvent des masses bacillaires, rarement grenues ou compactes. Elle fond assez facilement au chalumeau en bouillonnant. Elle est attaquable après fusion seulement par les acides.

CHAPITRE XXXII

ÉPIDOTES

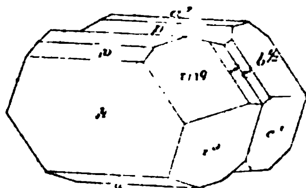
Épidote (Pistazite). — Silicate d'alumine, de chaux et de fer, dont la composition se rapproche de la formule :

$6CaO.4Al^2O^3.9SiO^2$, qu'on peut écrire : $M^6(Al^2,Fe^2)^4Si^9O^{36}$ où $M = Ca,H^2$.

Epidote de l'Oisans : Silice 38,25 ; alumine 21,61 ; oxyde de fer 13,61 ; chaux 22,86 ; magnésie 0,03. Elle cristallise dans le système clinorhombique ; mais, dans la zone perpendiculaire au plan de symétrie, les angles se répètent presque identiques par rapport à un second plan, h^1, en sorte que les cristaux sont presque orthorhombiques.

En adoptant la forme primitive choisie par Des Cloizeaux, l'on appelle *mm* (pans du prisme) deux faces qui font entre elles en

avant un angle de 69°56'; p une face (base) inclinée sur l'arête mm ou sur la face h' de 115°27'; cette base est inclinée de 121°24 sur une face laterale parallèle à la diagonale inclinée de cette base, qu'on appelle e^1 et de 116°18' sur o^1. On observe très souvent les faces $b^{1/2}$ ($pb^{1/2}$ adj = 104°41'), $b^{1/2}b^{1/2}$ = 109°40' sur g'; $b^{1/2}b^{1/2}$ sur a^1 = 70°14'. Les cristaux sont souvent groupés suivant h', rarement suivant la base.


Fig. 258.

Ils se clivent très nettement suivant p; moins facilement suivant h^1. Ils s'allongent et sont souvent striés parallèlement à l'axe de la zone ph^1; ils sont souvent réduits suivant cette direction à des baguettes informes à leurs deux bouts.

Plan des axes optiques g^1. 2 V = 74° 1/2; $\rho < v$.

La bissectrice aiguë est parallèle à h^1. Elle est négative.

$$n_g = 1,7677 \qquad n_m = 1,754 \qquad n_p = 1,7305.$$

E. de Knappenwand.

$$n_g - n_p = 0,0372.$$

M. Michel Lévy a observé $n_g - n_p = 0,056$ dans l'épidote de l'île Groix.

Dans la zone $g'h'$, l'angle d'extinction varie de 0 à 28°; il en est de même dans la zone pg'.

Le polychroïsme est très prononcé dans les épidotes fortement colorées; on y observe n_g vert, n_m brun, n_p jaune; dans les sections minces peu colorées, le polychroïsme est moins sensible. Au travers de g^1 il y a une absorption très forte; au travers des lames de clivage parallèles à p, qui sont à une dizaine de degrés près, normales à un axe optique, on observe autour de cet axe des bandes hyperboliques (vert en dedans, rouge en dehors).

Dans l'épidote, d'après Ramsay et Forbes, les indices de réfraction diminuent avec la quantité de sesquioxyde de fer. La biré-

fringence y décroît également, mais l'angle des axes y augmente. Dans l'épidote de Huntington, très riche en fer, c'est n_g qui devient la bissectrice aiguë ; celle-ci est par conséquent positive. Dureté : 6,5; densité : 3,25 à 3,5.

Couleur vert pistache, noirâtre, jaune, jaune brun. La poussière est grise.

Variétés : bacillaire, aciculaires, arénacées (scorza). Au chalumeau, l'épidote se gonfle en chouffeur, devient noire, mais ne fond pas réellement. Elle donne souvent un peu d'eau dans le tube fermée. Elle n'est attaquable par l'acide chlorhydrique qu'après avoir été portée à une haute température.

En lames minces, elle est incolore, très peu dichroïque et faiblement biréfringente ; à cause de son indice de réfraction élevé, elle présente souvent des couleurs très vives et très variées dans des points très voisins.

Piémontite. — C'est une épidote riche en oxydes de manganèse et de fer ; la bissection aiguë y devient positive. Elle est très fortement polychroïque ; en masse elle est d'un brun violacé ; n_g rouge de feu ; n_m améthyste ; n_p orangé.

Allanites. — Épidotes ou substances ayant les formes de l'épidote, mais contenant du cérium, du lanthane, du didyme, noires en masse, à poussière brun chocolat, à cassure conchoïdale, qui fondent en émail noir magnétique; certaines variétés ont les mêmes caractères optiques que l'épidote; les autres ont la structure gommeuse et n'agissent pas en lumière polarisée.

Orthites. — Allanites hydratées, contenant de 2 à 17 o/o d'eau et une matière volatile, noires en masses. Densité : 3,5 à 4,2. Certaines variétés (*pyrorthites*) bacillaires prennent feu au chalumeau. Les épidotes abondent dans les roches éruptives comme élément primordial; elles paraissent au contraire formées aux dépens des éléments magnésiens et ferreux dans les schistes cristallins feuilletés, dans les roches à grenats et à amphibole schisteuses.

Zoïsite. — Épidote orthorhombique, $mm = 116°16$ $pa^1 = 120°32$,

en prismes allongé suivant l'axe vertical, à faces cannelées, fissurées, à sommet généralement cassés ou indéterminables.

Le plan des axes optiques est g'; la bissectrice aiguë positive normale à h^1; la dispersion des axes y est considérable; $\rho < v$. En plaques minces, elle présente des couleurs vives de polarisation. La *Thulite* (variété rose) est nettement dichroïque et donne une image rose ou jaune, $n_g - n_p$ 0,005 à 0,006 (M. L. et L.).

Couleurs blanc grisâtre, vert pomme, quelquefois rose (thulite, qui contient du manganèse). Au chalumeau, elle perd de 2 à 4 o/o et laisse un résidu brun, fendillé qui fait gelée avec l'acide chlorhydrique.

Liévrite ou Ilvaïte. $7(Fe,Ca,Mn,H^2)OFe^2O^3 4SiO^2$ ou $H^2Ca^2Fe^4(Fe^2)Si^4O^{18}$. — Orthorhombique $mm = 112°38'$; g^3g^3 106°15'; $a'a'$ 112°49' sur p; clivages p et g' assez nets; moins distincts m et a^1. Opaque, éclat métalloïde, un peu résineux. Noir de velours ou grisâtre. Souvent une croûte d'hydrate de fer enveloppe les cristaux. Dureté : 5,5 à 6 ; densité : 3,9 à 4,1.

Propriétés thermiques. L'ellipsoïde isotherme a ses axes $a =$ 1,155 : $b =$ 1,005 : $c =$ 1.

La liévrite fond facilement au chalumeau en globule noir magnétique; elle donne les colorations du fer et du manganèse aux perles de sel de phosphore ; elle fait gelée dans l'acide chlorhydrique.

Cordiérite (*Dichroïte*, Iolithe). — Silicate d'alumine, de fer et de magnésie. $3MgO,3(Al^2,Fe^2)O^3,8SiO^2 = Mg^2,(Al^2,Fe^2)^3Si^5O^{18}$. Formes : prismes à six pans dérivés d'un prisme orthorhombique $mm = 119°10'$; $pm = 90°$. En appelant e^1 une face placée symétriquement sur l'angle aiguë de la base et inclinée de 150°49' sur celle-ci ; on rencontre des facettes b^1 ($pb^1 =$ 151°7'); $b^{1,2}$, g^2. Les clivages sont g^1 assez nets, h^1 imparfait.

Couleurs : bleu clair à bleu foncé. Pléochroïsme souvent très intense. n_g est bleu foncé ; n_m bleu clair ou grisâtre ; n_p est blanc jaunâtre. Deux plaques de ces variétés parallèles à l'axe vertical peuvent servir de tourmalines. Bissectrice aiguë négative normale à p. L'indice moyen est 1,542. Éclat vitreux, un peu gras.

Tous les degrés de transparence. Dureté : 7 à 7,5 ; densité : 2, 6.

Les cristaux sont allongés dans la zone verticale. Leurs sections donnent des rectangles, des hexagones ; ils renferment en inclusions de la sillimanite, des spinelles : ils sont difficilement fusibles et partiellement attaquables par les acides.

La cordiérite se rencontre en cristaux, en grains, en petites masses cristallines dans le granit, les gneiss, en Norwège ; avec l'albite dans l'Oural, dans le granite de Bodenmais avec chalkopyrite, pyrrhotine, etc., avec quartz et grenats rouges dans les micaschistes du cap de Gates ; dans les alluvions de Ceylan.

On voit souvent des cristaux ou des masses cristallines de cordiérite altérée plus ou moins profondément, devenue tendre, contenant de l'eau, qui ont reçu beaucoup de noms différents : aspasiolite, chlorophyllite, esmarkite, fahlunite, gigantolite, praséolite, etc.

Pinite. — On peut la regarder comme une substance gommeuse ou terreuse, qui a une dureté inférieure à 3, qui offre les formes p, m, h', g^1, g^2, e^1 de la cordiérite, qui est souvent divisible en tronçons à bases parallèles à p, ce qui la rend quelquefois comme schisteuse. C'est un silicate d'alumine, de fer, de magnésie, de chaux, contenant jusqu'à 10 o/o de potasse et de soude et 4 à 10 o/o d'eau. La pinite fond au chalumeau plus ou moins tranquillement. On la trouve en cristaux très nets géométriquement dans beaucoup de porphyres et on peut lui rapporter certaines petites masses d'un jaune verdâtre d'un certain nombre de roches cristallines.

Saphirine. $5MgO6Al^2O^32SiO^2$ ou $Mg^5Al^{12}Si^2O^{27}$. — Silicate d'alumine et de magnésie à rapports d'oxygène 5 : 18 : 4.

Cette substance se présente en agrégats de grains bleus, translucides, dichroïques, où l'on a pu récemment mesurer des angles de quelques faces $mm = 114°54'$ ph' 100°5 ; la symétrie optique la fait rapporter au système clinorhombique. Plan des axes g^1. Bissectrice négative inclinée de 71° sur l'axe de la zone g^1h'. L'indice de réfraction moyen est 1,7058 (Mallard).

CHAPITRE XXXIII

TALC.

Talc $(H^2,Mg^3)(SiO^3)^4 = 3MgO4SiO^2 + H^2O$. — Silicate de magnésie hydraté. Les cristaux et les masses cristallisées laminaires se clivent avec la plus grande facilité suivant la direction plane de ces lames. Les lames obtenues par clivage se rayent très facilement par l'ongle; placées sous le microscope d'Amici entre les nicols en croix, elles montrent des lemniscates à quadrants très symétriques $2E = 17° \rho > v$; plan des axes optiques h'. Bissectrice aiguë normale à p.

Les formes se réduisent à des masses laminaires, parfois à des paillettes hexagonales de 120° où leurs caractères optiques dévoilant une symétrie orthorhombique.

Le petit axe de l'ellipsoïde isotherme normal au plan de clivage facile est souvent trois fois plus petit que le grand.

Couleurs blanc, verdâtre. Densité : 2,5 à 2,8; dureté : 1.

Le talc est doux au toucher flexible, sans élasticité; il a l'éclat gras, onctueux. Il se raie avec l'ongle.

Variété. *Stéatite*, à laquelle on attribue la formule $MgO^2 4SiO^2$ compacte, grossièrement granulaire, en agrégats, en paillettes, en masses bacillaires, rayonnées, écailleuses, schisteuses, à lamelles courtes. Pierre à pot, pierre de lard, craie de Briançon, de Venise, plastique, cryptocristalline, en enduits, en tubercules, en grains remplaçant quelquefois des cristaux de hornblende, de grenats, d'idocrase, de tourmaline, de calcaire, de quartz.

Micas. — Silicates d'alumine et de potasse avec ou sans magnésie, contenant assez souvent de la soude, quelquefois de la lithine, dans certaines espèces des oxydes de fer, souvent aussi du fluor et plus rarement du cœsium et du rubidium, quelques centièmes d'eau; la silice y entre dans la proportion de 45 à 49 o/o.

C'est dans ce groupe que se trouvent les matières minérales qui offrent la structure la plus laminaire. Les micas se clivent en général avec la plus grande facilité suivant une direction plane et permettent d'obtenir ces grandes lames à faces parallèles, employées comme verres à vitre sur les navires ou dans les fenêtres des édifices, dans des pays à climat froid. Le clivage est tellement facile et tellement régulier, qu'on peut arriver à faire des lames assez minces de $0^m,03$ d'épaisseur, pour que les deux rayons provenant du même incident qui les traversent ne diffèrent à la sortie dans leur phase que d'une demi-longueur d'onde et dans les belles variétés ces lames ont cela de précieux pour l'optique qu'elles sont parfaitement élastiques.

Géométriquement, la plupart ont la forme de tables hexagonales et les angles plans des côtés de l'hexagone sont de 120° exactement. Si l'on interpose entre deux nicols en croix des lames de mica obtenues par clivage, on y observe deux systèmes d'anneaux, dont les centres sont tantôt très écartés, tantôt tellement rapprochés qu'ils paraissent optiquement uniaxes. La bissectrice aiguë est, à très peu près, perpendiculaire au plan de clivage. La dureté sur ce plan varie de 2 à 3,5 et la densité de 2,8 (micas à couleur claire) à 3,2 (micas de couleur foncée).

Ils fondent au chalumeau et ils sont attaqués par l'acide sulfurique concentré, tantôt difficilement (muscovites, riches en potasse), tantôt plus facilement, en laissant un squelette de silice (micas magnésiens). Ils contiennent de 40 à 50 o/o de silice.

La formule générale est voisine de $MOAl^2O^32SiO^2$. Formes cristallines; ce sont, en général, des prismes hexagonaux. On rencontre cependant quelquefois des facettes que leurs inclinaisons relatives font rapporter au système orthorhombique. En sorte que le prisme hexagonal est composé d'un prisme rhombique *mm* dont les faces font entre elles un angle de 120° et dont les arêtes latérales *g* sont modifiées par une face verticale g^1 faisant avec les faces *m* des angles égaux aussi à 120°, la face de clivage prise pour base *p* étant perpendiculaire aux faces de la zone mg^1. Lorsqu'on place sous le

microscope polarisant mis à l'extinction une lame parallèle au clivage p, on voit deux systèmes de courbes colorées qui se coupent et si la ligne des foyers est à 0° d'un des nicols et à 90° de l'autre ou à 45° des deux, on peut facilement constater que les couleurs sont disposées avec la plus parfaite symétrie dans les quatre quadrants; ce qui a fait penser que les cristaux sont à deux axes optiques et que leur structure a la symétrie orthorhombique. Mais la bissectrice aiguë de l'angle des axes qui percent les lames aux foyers des lemniscates tout en étant presque perpendiculaire au plan des lames ne l'est en général pas rigoureusement et l'on regarde la symétrie des micas comme étant réellement clinorhombique; c'est à quoi mène aussi l'examen des figures de corrosion obtenues sur la base des micas par l'acide fluorhydrique; aussi les cristallographes opticiens sont-ils à peu près d'accord depuis quelques années pour noter d les arêtes antérieures, b les postérieures de la base supérieure. On a pu mesurer $pg^1 = 90°$; $mg^1 = 120°$; $pb^{1/2} = 98°38'$; $pd^{1/4} = 99°24'$, en avant; pa^1 99°57'; $e^1e^1 = 38°46'$ sur p. L'inclinaison de l'arête mm sur la base serait de 89°54 (fig. 259). On a objecté à cette interprétation de la forme géométrique que certains cristaux se trouvent accolés suivant une face m, sans qu'on ait jusqu'ici observé aucun angle rentrant, les bases des individus du groupe restant dans le même plan.

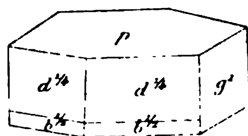


Fig. 259.

Lorsqu'on applique aux micas le procédé de Reusch, en posant sur leur base une pointe qu'on y enfonce au moyen d'un léger choc, on y produit des fissures parallèles aux traces des faces m, h^1, à 60° les unes des autres, qu'on appelle figures de choc. Si on se contente d'exercer une légère pression, l'on produit d'autres figures appelées figure de glissement; ce sont des sortes de fissures plus étroites; situées sur les bissectrices des précédentes, inclinées à 67° sur les plans de clivage. De notre côté, nous avons vu que, si en perforant le mica on parvient à décoller deux lames conti-

guës, sans y déterminer aucune fente, le contour de la partie de la lame inférieure détachée de la supérieure a la forme d'une ellipse sensiblement circulaire, analogue à l'ellipse de décollement, que nous avons produite dans le gypse. L'angle des axes optiques varie singulièrement de 0° à plus de 70° d'un échantillon à l'autre dans les micas. On a même admis d'abord deux groupes distincts, celui des muscovites à deux axes optiques et celui des biotites ou micas uniaxes; on a ensuite distingué les phlogopites, micas où l'angle des axes ne dépasse guère 30°, des muscovites où cet angle est ordinairement supérieur à 60°.

On a essayé d'expliquer les uniaxes comme des associations de biaxes dont les axes optiques auraient des plans différemment orientés. Mais l'étude des caractères thermiques s'oppose absolument à cette manière de voir; car, sur les bases des cristaux uniaxes comme sur celles des biaxes, les courbes thermiques sont des ellipses à excentricité faible, il est vrai, mais très nette, quand on l'étudie avec l'ellipsomètre, et l'excentricité n'est pas plus forte dans les biaxes que dans les uniaxes, le rapport du grand axe au petit variant de 1,03 à 1,06.

	Excentricité sur la base.
Mica de Roscoë (États-Unis) axes très rapprochés . .	1,04
— de Burget (Canada) presque uniaxe.	1,05
— uniaxe, de Monroë (comté d'Orange), États-Unis .	1,06
— doré jaune, presque uniaxe	1,03
— brun foncé — —	1,03
— vert, des États-Unis, presque uniaxe	1,06
— blanc, à axes très écartés	1,04
— — des États-Unis (axes très écartés) . . .	1,05
— — de Sibérie (États-Unis)	1,03
— — de Calcutta (2E = 57°)	1,02
— verdâtre (2E = 73°)	1,04
— de Newcastle Conty, Delaware (2E = 57°) . . .	1,02

Les six premières variétés ont des angles d'axes optiques 2E variables de 0 à quelques degrés; les six dernières des angles 2E supérieurs à 50° et l'excentricité n'est pas plus grande dans les unes que dans les autres.

Sur la base, le grand axe thermique est généralement parallèle au plan des axes optiques.

Sur les faces verticales ou sur des sections perpendiculaires à la base, ce grand axe est parallèle au clivage basique, vertical et le rapport du grand axe au petit atteint, en moyenne, 2,5.

Nous admettrons donc que les micas sont au point de vue thermique orthorhombiques, même lorsqu'ils sont géométriquement hexagonaux. Aujourd'hui on tend à les regarder comme optiquement monocliniques, les lignes d'extinction ne paraissant pas à quelques observateurs, comme il a été dit plus haut, rigoureusement parallèles et perpendiculaires au clivage basique.

On distingue dans les micas :

1° Les *Muscovites* $K^3H^2Al^3Si^3O^{12}$, ou $3\ H^2,K^2)O3Al^2O^36SiO^2$; le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1; l'angle apparent des axes 2E varie de 60 à 70°; la bissectrice aiguë négative s'éloigne, dit-on, d'environ 2° de la normale à la base et $\rho > v$.

Ils sont transparents; ils ont un éclat souvent nacré, quelquefois métalloïde; ils sont incolores, d'un blanc d'argent, d'un jaune d'or. Ce sont les plus facilement clivables.

2° *Paragonite* $(Na^2H^2)OAl^2O^32SiO^2$ avec les mêmes caractères optiques.

3° *Lépidolithe* $(Li^2K^2H^2)OAl^2O^22SiO^2$ avec fluor; $2E = 77°$; écailles verdâtres, jaunâtres, rosées.

4° *Zinnwaldite*, qui diffère du lépidolithe en ce qu'elle renferme, outre le silicate d'alumine et de potasse, un silicate de magnésie et de fer; ici le plan des axes devient g^1; mais la bissectrice aiguë garde son signe et sa position normale à p. Elle est de couleur claire, quelquefois verdâtre.

5° *Phlogopites*, micas où l'angle des axes varie de 5 à 20°; ce sont des silicates de potasse, de soude, contenant d'assez fortes quantités de magnésie ou même d'oxyde de fer, et toujours une certaine proportion de fluorures; leur coloration est assez claire; le plan des axes y est également g^1 et ici ρ devient $> v$.

6° Enfin les *Biotites*, micas noirs et verts (méroxène), silicates

de potasse avec 16 à 26 o/o de magnésie et 6 à 20 oxydes de fer, où 2E varie de o à quelques degrés, le plan des axes étant quelquefois g^1 et souvent h^1 et $\rho > v$; la bissectrice aiguë étant toujours négative. Les biotites claires ont souvent un éclat un peu gras. On appelle souvent *lépidomélanes* les plus ferrugineuses.

Groupements. — Deux ou plusieurs individus se groupent en se pénétrant de façon que les limites de chacun dans le groupe sont assez irrégulières; quelquefois ils sont orientés à 60° les uns des autres.

Au microscope, le plus souvent les sections minces des micas simples ou groupés sont hexagonales; celles qui sont perpendiculaires ou obliques à la base des cristaux peuvent paraître allongées et rectangulaires ou obliquangles. Les micas peuvent devenir microlithiques, mais ils conservent généralement les mêmes formes, le même faciès, quelles que soient leurs dimensions.

Les micas colorés noirs et verts sont très dichroïques; la biréfringence mesurée par MM. Michel Lévy et Lacroix varie de 0,035 à 0,044; elle atteint 0,06 dans la biotite de Pranal.

Le polychroïsme s'exagère autour du zircon et de quelques autres substances cristallisées. Dans un grand nombre de roches, leurs paillettes déchiquetées, chiffonnées, sans contours réguliers, sont tantôt parallèles, tantôt disposées en rosettes ou en boules. Ils offrent parfois une structure zonaire indiquée sur les bases par des stries parallèles à leurs côtés.

On observe quelquefois des entrelacements de micas de différentes sortes, la muscovite enveloppant la biotite.

On observe aussi sur un certain nombre de micas des déformations mécaniques, des surfaces de glissement entre lesquelles se sont infiltrés des oxydes ou du carbonate de fer. Aux micas se rattachent les margarites silico-aluminates de chaux. MM. Hautefeuille et Saint-Giles ont reproduit un mica de fer uniaxe très polychroïques. On a donné bien des noms aux différentes variétés de mica : séricite, qui contient la plus forte proportion de silice, près de 50 o/o; rubellane, qui contient un peu plus d'eau que les autres, etc.

Séricite. — Elle ressemble au talc; elle a l'éclat soyeux ou gras. Densité: 2,8. Elle a une composition voisine de la muscovite: silice, 45,36; alumine, 39,52; oxydes de fer, 3,81; chaux, 0,49; magnésie, 0,89; potasse, 11,67; soude, 0,71; eau, 4,63. Elle fond au chalumeau en émail grisâtre ou verdâtre. Elle forme des paillettes, des agrégats, des bandes longues, quelquefois fibreuses, souvent plissées, parfois schisteuses, grisâtres ou verdâtres. En lumière polarisée, elle offre de vives irisations.

Famille des micoïdes. — On rattache aux micas un certain nombre de substances à faciès hexagonal et possédant un plan de clivage facile.

Sismondine ou chloritoïde. $H^2(Fe,Mg)Al^2SiO^7 = H^2O(Fe,Mg)OAl^2O^3SiO^2$.

Cette matière d'un vert bleuâtre est très clivable suivant une face p prise pour base d'un prisme de 121°. Le prisme est clivable, quoique moins facilement, suivant ses faces ainsi que sur le plan g' vertical et parallèle à la petite diagonale de la base. Le prisme est sans doute triclinique. Le plan des axes optiques est g^1; la bissectrice aiguë négative est presque perpendiculaire à la base; la dispersion est considérable. On observe dans ces lames un polychroïsme très intense. n_g jaune verdâtre: n_m bleu indigo; n_p vert olive. Les lames minces de clivage sont d'un vert d'herbe. Au travers des sections minces p, on observe en lumière polarisée des plaques qui s'éteignent à 60° les unes des autres. $n_g - n_p = 0,015$ (ML. et L). Densité : 3,52 à 3,56; dureté : 6,5.

Ottrélithe. — Silicat d'alumine, de fer, de magnésie hydraté. Prismes tabulaires hexagonaux, clivables suivant leur base, au travers de laquelle on observe deux axes optiques très écartés autour d'une bissectrice négative, oblique à la base.

Éclat vitreux, un peu gras. Couleur gris noirâtre, verdâtre par transparence. Densité : 3,3. Très difficilement fusible en émail noir. Difficilement attaquable par l'acide sulfurique. Abonde en petites lamelles dans les schistes d'Ottrez.

Masonite. — Grands cristaux tabulaires, offrant un clivage

facile, à éclat un peu nacré, résineux dans la cassure, un peu dichroïques, clinorhombiques avec deux axes optiques assez rapprochés. Dureté : 5 ; densité : 3,529. La masonite est fusible difficilement en émail noir magnétique ; elle a une composition chimique voisine de celle de la sismondine.

Xanthophylite. $2H^2O\,14(Na^2,Ca,Mg,Fe)O,8Al^2O^3\,5SiO^2$. — Cette formule n'est qu'approximative.

Cette matière se présente en lames quelquefois hexagonales, à clivage très facile, à deux axes optiques très rapprochés, situés dans le plan g^1, dont la bissectrice aiguë négative est normale au clivage. La matière est d'un jaune verdâtre ; la dureté varie de 4,5 à 6 ; la densité est de 3 à 3,1. La matière est infusible et très difficilement attaquable par l'acide chlorhydrique ; à une haute température, elle devient opaque.

Brandisite. — Silicate de magnésie et de chaux hydraté paraissant appartenir géométriquement au système orthorhombique et se présentant en prismes hexagonaux mg^1, offrant un clivage basique net, moins facile que celui des micas. Caractères optiques : ceux des micas. Couleurs vert céladon ou vert poireau, vert émeraude au travers de la base, brune normalement ; sans élasticité. Densité : 3,01 à 3,06 ; dureté : 5 à 6,5.

Clintonite. — Silicate de même composition qualitative que le précédent. Les formes sont des prismes hexagonaux portant quelquefois des pyramides de même section. Clivage basique facile. On observe au travers des lames de clivage deux axes optiques extrêmement rapprochés et les mêmes caractères que dans les substances dont il vient d'être parlé. Densité : 3,148 ; dureté : environ 4,5. Infusible ; attaquable par l'acide chlorhydrique. Couleurs : brun rougeâtre ; rouge, sans élasticité. Souvent les cristaux sont maclés par trois autour de l'axe ternaire.

$$n_g - n_p = 0{,}012 \text{ (M. L. et L.)}.$$

Chlorites. — Ce sont des silicates hydratés d'alumine, de magnésie et de fer, en général d'un vert poireau, quelquefois très clair

d'un vert olive, d'un vert émeraude, d'un bleu verdâtre et parfois rouge ou d'un rose fleur de pêcher, à éclat souvent gras, plus rarement vitreux, rarement transparentes, le plus souvent translucides, presque toujours divisibles en lames ou en écailles hexagonales, très flexibles, lorsqu'elles sont minces, mais peu élastiques, à poussière toujours claire, plus douces au toucher que celle des micas, moins onctueuse que celle du talc, plus ou moins facilement fusibles, donnant de l'eau dans le tube bouché, attaquables par l'acide chlorhydrique, au moins après ébullition prolongée. Elles contiennent : 30 à 33 silice; 11 à 21 alumine et oxydes de fer; 32 à 35 magnésie; 12 à 15 o/o eau; quelquefois plusieurs millièmes d'oxyde chromique.

Pennines. — Les unes se présentent sous la forme de rhomboèdres aigus, ordinairement basés, dont les lamelles obtenues par clivage, placées entre deux nicols croisés montrent en lumière convergente des anneaux colorés circulaires traversés par une croix noire. Leur dureté est de 2,5 et leur densité varie de 2,65 à 2,66. L'axe optique est positif. Le rhomboèdre primitif est très aigu; l'angle des faces p est de 65°28'; pa^1 = 103°45' (fig. 260). La teneur en oxyde de fer n'y dépasse guère 5 o/o. Dans la *kämmérérite* il entre jusqu'à 4 o/o d'oxyde de chrome. La *kämmérérite* est rouge ou d'un rose fleur de pêcher. Une variété blanche de Mauléon ne contient que des traces de fer. Une autre d'un vert sombre composée d'écailles hexagonales dont l'axe optique est négatif a été appelée *vermiculite*, parce qu'au chalumeau elle se gonfle et se tord comme un ver.


Fig. 260.

La pennine, d'un vert olive, paraît d'un vert émeraude en lumière polarisée suivant l'axe (rayon ordinaire et d'un rouge brun perpendiculairement à l'axe (rayon extraordinaire). Dans la kämmérérite, le rayon ordinaire est d'un bleu violacé, l'extraordinaire d'un rouge carmin ou brun. Dans toutes les pennines, la double réfraction est très faible; elle ne dépasse pas 0,005. On

observe d'assez nombreux groupements, tantôt réguliers autour de l'axe ternaire, tantôt irréguliers.

La plupart des minéralogistes aujourd'hui regardent la pennine comme clinorhombique, à cause des dislocations accidentelles de la croix dans quelques cristaux. Dans cette manière de voir, a^1 du rhomboèdre devient la base p du prisme clinorhombique; les faces rhomboédriques p de droite et de gauche deviennent deux faces $b^{1/2}$ et la face p rhomboédrique située en avant sur la figure devient o^1 de la forme clinorhombique. Le grand axe de l'ellipsoïde isotherme qui est de révolution vaut 1,16; il est horizontal; le petit axe étant égal à 1.

Ripidolithes. — On appelle ainsi des groupes flabelliformes ou en sphéroïdes irréguliers, contournés, de lamelles hexagonales généralement biaxes. Les ripidolithes sont généralement assez riches en oxyde de fer; elles en contiennent jusqu'à 15 o/o; la double réfraction y est aussi faible que dans les pennines, l'angle des axes peu écartés; la bissectrice aiguë est positive.

La dureté en est faible : de 1 à 2; elles se rayent par l'ongle; la densité varie de 2,78 à 2,95; ce sont les chlorites les plus fusibles et les plus facilement attaquables par les acides.

Clinochlores. — La teneur en oxydes de fer y est un peu supérieure à celle des pennines; mais les formes cristallines y dérivent franchement d'un prisme oblique et les axes optiques y sont nettement séparés.

$$mm = 125^\circ 37' \quad pa' = 103^\circ 55' \quad pe^4 \; 108^\circ 14 \quad pg^1 = 90^\circ.$$

Ils sont rayables par l'ongle et leur densité varie de 2,6 à 2,77. La projection de la section droite sur la face prise pour base est un rhombe de 120°; cela explique pourquoi les lames obtenues par le clivage facile parallèle à cette base ont comme celles de mica un contour hexagonal.

L'ellipsoïde isotherme dans les variétés vertes est de révolution et l'axe de rotation est normal au clivage facile. Sur les bases la courbe isotherme est presque un cercle; sur le plan g^1, le grand axe

de l'ellipse isotherme, presque parallèle à p, vaut 1,7 en prenant pour unité l'axe normal du clivage facile.

L'angle des axes optiques varie de 10° à 80° ; la bissectrice aiguë fait un angle de 12° à 15° avec l'axe vertical cristallographique ; elle est généralement positive. La biréfringence y varie de 0,005 à 0,01 (M. Lacroix). Certaines variétés ont un polychroïsme marqué ; dans d'autres le polychroïsme est peu sensible. On observe souvent des groupes de plusieurs cristaux en verticile autour de l'axe vertical. Les clinochlores s'exfolient au chalumeau et fondent sur les bords en émail blanc ; ils donnent de l'eau dans le tube bouché et sont complètement décomposés par l'acide chlorhydrique. Quand on produit sur les lames de clinochlore au moyen d'une pointe les figures de Reusch, on obtient trois fissures dont l'une est parallèle au plan g^1 et les deux autres aux côtés du losange formé par les arêtes de la base.

Une variété, la *Tabergite* de Taberg, en Wermland (talc bleu de Werner), montre des lamelles négatives enchevêtrées avec d'autres positives. Une autre encore, appelée *chlorite talqueuse*, de Traverselle, se présente en lames hexagonales, dont la partie périphérique à axes très rapprochés, à bissectrice positive, est formée de six secteurs qui enveloppent une partie intérieure à axes plus écartés et à bissectrice négative.

CHAPITRE XXXIV

SILICATES COMPLEXES.

Topaze. — $Al^2SiO^5 + m\ Al^2SiFl^{10}$, silicate d'alumine, avec fluor. Elle cristallise en prismes orthorhombiques (fig. 261) $mm = 124°17'$; $pe^1 = 136°21$; $pb^{1/2} = 116°6$; $pa^1 = 158°69$; $pb^1 = 134°251$. Clivage basique très net p ; moins nets a^1, e^1. Les

cristaux sont quelquefois dissymétriques à leurs deux extrémités; ils sont pyroélectriques.



Fig. 261.

Une lame parallèle aux faces de clivage montre sous le microscope polarisant des lemniscates à quadrants très symétriques. L'angle des axes varie d'un cristal à l'autre, quelquefois dans les différentes régions d'un même cristal. M. Des Cloizeaux a observé $2E = 72°$ dans certaines topazes jaunes, $2E = 120°$ dans une topazee incolore du Brésil.

Le plan des optiques est g'; la bissectrice aiguë positive normal à p.

$$n_g = 1{,}6188 \quad n_m = 1{,}61375 \quad n_p = 1{,}61161$$

dans une topaze blanche du Brésil pour la raie D.

La topaze en gros cristaux se reconnaît à son facile clivage, presque unique et parfait, bien que de séparation difficile, à sa dureté 8, à sa densité voisine de celle du diamant (3,51 à 3,55), à son éclat vif, mais vitreux, qui n'a rien d'adamantin.

Couleurs : jaune roussâtre, jonquille, rose pourpré (rubis du Brésil) ; rose ou violet pâle, lorsqu'on les a chauffées (topazes brûlées) ; d'un blanc bleuâtre ou verdâtre (topaze de Sibérie) ; d un jaune paille, d'un blanc jaunâtre (topaze de Saxe); incolores et limpides (gouttes d'eau). Dans les topazes du Brésil la matière colorante est souvent comme condensée, tantôt au centre et tantôt suivant des bandes trapéziennes de nuances différentes ; celles-ci sont souvent chargées d'innombrables inclusions liquides. Les topazes sont infusibles; elles perdent au feu du fluorure de silicium et se couvrent de petites bulles. Elles sont insolubles dans les acides. Celles du Brésil jaunes d'or (topazes de la joaillerie) ou roses, sont engagées des cristaux souvent allongés dans les granites et les schistes chloriteux subordonnés aux itacolomites ; celles de Sibérie viennent des environs du lac Ilmen; les plus incolores se rencontrent en galets en Australie, Écosse, etc., dans des alluvions.

Celles de Saxe forment avec le quartz et la tourmaline noire la *roche à topazes* des environs d'Auerbach, Voigtland.

D'après S.-L. Penfield et Minot, la formule de la topaze est $Al(F,OH)^2]AlSiO^4$. L'angle des axes décroît, quand le fluor est remplacé par l'hydroxyle. Ainsi la topaze de Durango, dont l'angle $2E = 129°50'$ contient beaucoup de fluor, tandis que celle de Mugla (Asie Mineure), dont l'angle $2E = 71°32'$, renferme peu de fluor et contient beaucoup d'eau.

Pyrosmalite. — Silicate hydraté de magnésie et de fer contenant du chlore.

La formule serait : $7H^2O,9(Fe,Mn)O,8SiO^2 + (Fe,Mn)Cl^2$ ou $(H^2,Fe,Mn)^{17}Si^8Cl^2$.

Système hexagonal $pa^1 = 148°30'$ environ. Clivage basique parfait, m imparfait.

Axe optique négatif.

Ellipsoïde isotherme de rotation; petit axe normal au clivage basique.

Couleur brun verdâtre. Densité : 3,06 à 3,18; dureté : 4 à 4,5.

Friedélite. $7H^2O,9MnO,8SiO^2 + MnCl^2$. — Petites paillettes hexagonales, disséminées dans le calcaire d'Adervielle, Pyrénées. Clivage net, basique; pa^1 147°.

Axe optique négatif.

Couleur rose. Densité : 3,07; dureté variable suivant les directions de 4 à 6.

Leucophane. $2(Ca,Na^2)O,4SiO^2 + ClFl^2$ ou $(Ca,Na^2,Gl)^2Si^4O^{10}Fl^2$, suivant d'autres chimistes $(Ca,Na^2,Gl)^6Si^5O^{15}Fl^2$.

Orthorhombique, hémiédre. $mm = 90°21'$; $a^{1/2}a^{1/2} = 107°3'$.

Plan des axes optiques h^1; bissectrice aiguë négative, normale à la base. Indice de réfraction moyen 1,5934. Angle des axes $2V = 39°$; $2E = 74°3'$ et $\rho > r$.

Dureté : 3,5 à 4; densité : 2,97. Couleur blanc verdâtre. Clivage basique. Fusible au chalumeau. En petites masses cristallines dans la syénite du rocher de Lammon, près l'embouchure du Langesundfjord, Norvège.

Mélinophane. — Composition très voisine de la précédente. Prismes quadratiques, tétraédriques; $b^{1/2}\, b^{1/2} = 94°,5$.

Double réfraction forte $n_o = 1,611$; $n_e = 1,592$. Axe optique négatif.

Petit axe de l'ellipsoïde isotherme de révolution normal au clivage facile.

Couleur jaune de miel, jaune citron. Éclat vitreux. Densité : 3; dureté : 5.

Disséminé dans la syénite zirconienne de Friedrikswarn, Norvège.

Datholite. $H^2O2CaOBo^2O^32SiO^2$. — Substance transparente à éclat vitreux, dont les formes dérivent d'un prisme monoclinique. $mm = 76°38'$; ph' ant. $90°6'$; pe' $174°32'$; $po^{1/2}$ $134°53'$. Face p souvent ondulée; faces $o^{1/2}$ striées suivant la diagonale horizontale. Clivages net h'; difficile m et p.

Plan des axes optiques g'. Bissectrice aiguë négative presque normale à p; $2V = 74°^{1/2}$. Indice de réfraction moyen 1,653 pour la raie D. Les cristaux sont souvent chargés de facettes.

L'éclat est vitreux, un peu résineux dans la cassure. Blanche, ou d'un blanc violet, rougeâtre.

Densité : 2,9 à 3; dureté : 6,5.

Au chalumeau, fond en verre clair avec bouillonnement; donne la réaction du bore soluble en faisant gelée dans HCl. On trouve quelquefois des cristaux de datholite remplacés par de la calcédoine qui a conservé sa forme et qui sont beaucoup plus gros que les cristaux ordinaires de la substance qu'ils remplacent; la calcédoine moulée ainsi a des faces brillantes et parfaitement mesurables, bien qu'elles ne soient pas d'emprunt.

Tourmalines (*Schorélectrique, Emeraude du Brésil, Indicolithe, Rubellite, Apyrite, Tire-cendres*).

Silicoborates d'alumine, de fer, de manganèse, de magnésie, de chaux, de potasse, de soude, de lithine avec fluor.

Rammelsberg les classe chimiquement de la façon suivante, en représentant par M les métaux monoatomiques : K^2,Na^2,Li^2, par M les métaux diatomiques : Ca,Mg,Mn :



I $(MM)^3Al^4Bo^2Si^4O^{20}$ II $(MM)^3Al^{12}Bo^4Si^9O^{45}$,

ce qu'on peut écrire, en posant : $R = (M, M)$



I $3RO, 2Al^2O^3, Bo^2O^3, 4SiO^2$ II $3RO, 6Al^2O^3, 2Bo^2O^3, 9SiO^2$.

Le premier groupe comprend le plus grand nombre des espèces jaunes, brunes ou noires, renfermant 32 à 34 o/o d'alumine; dans les noires, il y a jusqu'à 17 o/o d'oxyde de fer. Le second groupe embrasse les espèces incolores, d'un vert clair ou rouges, dans lesquelles il entre jusqu'à 2 o/o de lithine, où le fer manque à peu près complètement, où l'alumine atteint la proportion de 42 à 44 o/o. Dans la tourmaline de Nischne-Iasetsk, Oural, il y a 12,79 de Bo^2O^3.

La silice varie de 37 à 41 o/o et l'acide borique de 7 à 9. Rammelsberg fait remarquer qu'un certain nombre de tourmalines du Brésil ont une composition mixte, comme si elles étaient un mélange des deux groupes.

La forme dominante des tourmalines est un prisme hexagonal terminé par un rhomboèdre d'environ 133° dont on appelle les faces p (fig. 262). Il varie de 133°2' (tourmaline rouge de Sibérie), à 133°13 (tourmaline noire de Sibérie), 134° dans des tourmalines blanches.

Au rhomboèdre p s'associe le rhomboèdre e^1, des scalénoèdres ; parfois une extrémité est terminée par un pointement plus ou moins aigu, l'autre par une base a' ou par un rhomboèdre obtus b (hémimorphisme). Souvent on observe les deux prismes hexagonaux e^2, d^1, le second complet, le premier réduit à 3 faces, ce qui donne un prisme à 9 pans et un prisme à 3 faces lorsque d^1 ne se développe pas. De là des sections droites, à 9, à 6, à 3 côtés.

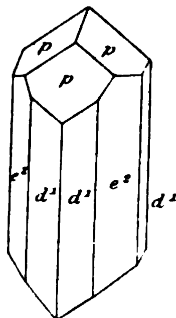


Fig. 262.

Très fréquemment la tourmaline se présente en agrégats bacillaires, fibreux, aciculaires, rayonnés. Les seuls clivages observés sont parallèles à p et imparfaits. Densité : 3,035. Tourmaline jaune

de Windischkappel : 3,059. Tourmaline de l'île d'Elbe : 3,162. Tourmaline noir bleuâtre de Sarapulsk (parmi celles du premier groupe) : 3,082. Tourmaline rouge de Schaïtansk : 3,022. Tourmaline incolore et rougeâtre de l'île d'Elbe, parmi celles du second : 3,049. Tourmaline jaune roussâtre de Gouverneur parmi les tourmalines mixtes : 3,049.

L'axe optique est négatif; les indices de réfraction sont 1,6444 pour le rayon ordinaire, 1,6240 pour l'ordinaire en lumière rouge dans une tourmaline incolore, d'après Des Cloizeaux.

Les cristaux colorés offrent en général un dichroïsme très net.

Couleurs	Axiale	brun jaunâtre	violet brun	pourpre
	transversale	vert d'asperge	bleu verdâtre	bleuâtre

Les couleurs sont très variables, quelquefois dans un même cristal, qui offre un prisme intérieur rose enveloppé de vert, ou des couleurs blanches, noires, rouges étalées les unes au dessus des autres.

Tourmalines. — Les belles tourmalines rouges de Sibérie sont taillées comme des rubis (rubellites) par les lapidaires.

Propriétés thermiques. — L'ellipse isotherme produite sur une face parallèle à l'axe principal a toujours son grand axe transversal.

Propriétés électriques. — Les tourmalines sont électropolaires par échauffement ou refroidissement, tout le temps que persiste le mouvement de la température. Le pôle le plus chargé de facettes est positif pendant le refroidissement; l'autre plus obtus est négatif.

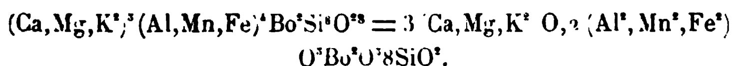
Propriétés pyrognostiques. — Au chalumeau, certaines tourmalines fondent avec boursoufflement (un grand nombre des noires ferrugineuses), d'autres sans bouillonner; quelques-unes se gonflent sans fondre (tourmalines lithiques, dites *apyres*). Au rouge vif, elles dégagent du florure de silicium et de bore et leur poussière devient attaquable par l'acide fluorhydrique. Avec le bisulfate de potasse et le fluorure de calcium, elles donnent à la flamme une coloration verte fugitive (fluorure de bore). La perte au feu est de 2 à 2,70 0/0. L'acide sulfurique ne les attaque qu'incomplètement.

Principales variétés : *T. noble*, *rubellites*, *sibérites*, d'un rouge violet, carmin, pourpre, rose, disséminées dans un granite ou dans les argiles provenant de la décomposition de cette roche, à Schaïtansk, avec mica lépidolithe, etc.

Au Brésil, les tourmalines se rencontrent en cristaux roulés, informes, gros comme des haricots (Feijao) dans les sables diamantifères. A l'île d'Elbe, ils sont engagés dans un granite à gros éléments. En général, on les trouve en gros cristaux en aiguilles, dans le granit, le gneiss, les pegmatites ; quelquefois en inclusions dans le quartz ; dans les alluvions provenant de la désagrégation des roches cristallines, avec zircon, cassitérite, etc.

En lames minces, au microscope, comme ses variétés engagées dans les roches sont toujours de couleur foncée, brune, bleue ou noire, la tourmaline conserve un dichroïsme très net. L'extinction maximum a lieu lorsqu'on place ses prismes ou tronçons de prismes perpendiculaires à la section principale du polariseur, ce qui la distingue de l'amphibole.

Axinite. — Silicoborate d'alumine, de fer, de manganèse et de chaux qui pourrait être représenté par la formule :



$$(Ca,Mg,K^2)^3(Al,Mn,Fe)^4Bo^2Si^8O^{28} = 3(Ca,Mg,K^2)O,2(Al^2,Mn^2,Fe^2)O^3Bo^2O^38SiO^2.$$

Les cristaux sont des prismes tricliniques $pm = 134°48$; $pt = 115°39$; $pf' = 143°30'$; $pi^1, 139°7'$; $pg^1 = 93°10'$ à dr ; ph^1 124°33'. Ils offrent des dièdres aigus d'environ 45°, ce qui les a fait appeler l'espèce *axinite* par Haüy (fig. 263).

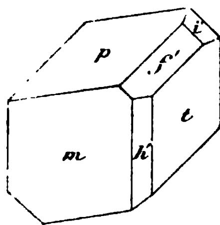


Fig. 263.

Clivages C^1, g^1. Dureté voisine de 7 ; densité : 3,3 environ. Couleurs : brun de girofle ou violâtre ; parfois gris de fumée ; vert pâle par suite du mélange avec la chlorite. L'axinite présente combinées les dispersions inclinée et horizontale $\rho < v$. Les indices de réfraction sont :

$$n^g = 1,681 \quad n^m = 1,6779 \quad n^p = 1,672 \text{ (D)}.$$

En regardant au travers d'une lame normale à un axe optique, on aperçoit deux branches d'hyperboles, dont chacune offre deux couleurs ; un seul nicol suffit pour voir des anneaux colorés circulaires. Bissectrice aiguë négative, presque normale à i^1 ; plan des axes normal à l'arête *mt* et faisant 40° avec mi^1. En lames minces, ils sont presque incolores ou légèrement violacés et sensiblement dichroïques. L'axinite donne au chalumeau les caractères du manganèse et du bore. Elle est attaquable par l'acide chlorhydrique après fusion. Elle est fusible en perle verte, noire au feu oxydant.

Sphène. — $CaO2SiO^2 + CaO2TiO^2$, ou $CaTiSiO^5$ silicotitanate de chaux. Les formes cristallines ont la symétrie clinorhombique.

$mm = 113°31'$; $ph' = 119°43$; $pd^{1/2} = 141°44'$; $pe^{1/2} = 1239°59'$.

On observe aussi o^2, o^1, b', etc. Les cristaux se groupent suivant h^1 avec rotation de 180° d'un des individus autour de la normale au plan de macle et le groupe en forme de fond de bateau (fig. 264), est souvent dit *canaliculé*.

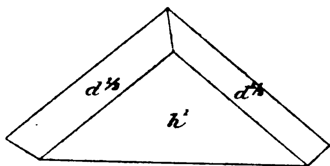


Fig. 264.

On rencontre aussi des groupes ayant leur plan de jonction parallèle à p, ou à $a^{3/4}$ dans la greenovite.

Les clivages les plus faciles sont parallèles à m ; il y en a de moins nets suivant h' et b' ; d'assez nets suivant $d^{1/2}$ dans la greenovite.

Le plan des axes optiques est g^1 ; la bissectrice aiguë normale à o^2 fait 39° environ avec g^1h^1.

Les indices de réfraction sont très élevés.

$n_g = 205$ $n_m = 1,92$ $n_p = 1,9133$ dans sphène d'Iéna, d'après Butz. Le pléochroïsme est faible ; la dispersion est très forte. On a observé $2E_5 = 55$ à 56° ; $2E_v = 34°$. Les cristaux sont pyroélectriques.

Sur g^1, l'ellipsoïde thermique a son grand axe presque vertical.

Couleurs. Les cristaux sont transparents et peu colorés, ou d'un jaune verdâtre (Saint-Gothard) ou en partie rouges et en partie verts : la variété appelée *Lédérite*, peu transparente, ferrifère, est brune, la greenovite, riche en manganèse, est rose et a la poussière rougeâtre. Les cristaux ont l'éclat adamantin.

La dureté est d'environ 5,5. La densité, de 3,4 à 3,6, permet de séparer facilement le sphène des éléments incolores des roches. Comme il contient peu de fer, on le sépare des éléments noirs très ferrifères au moyen d'un électro-aimant.

Le sphène fond sur les bords en bouillonnant. Il est attaqué par l'acide sulfurique concentré. Il colore les perles de borax et de sel de phosphore en lilas au feu réducteur.

En lames minces, il présente des hexagones allongés, des triangles, et, dans ses sections transverses, des rhombes aigus, des bandes terminées par des pointements également aigus. Le plan de jonction des groupes se manifeste par des lignes parallèles aux diagonales qui joignent les angles aigus des rhombes ; les clivages par de petites fissures.

Dans les roches trachytiques les cristaux sont plus clairs et dans les syénites plus foncés.

Le haut indice de réfraction 1,9 en moyenne donne un grand relief aux lames minces et les cristaux s'irisent en lumière polarisée, montrant des couleurs éclatantes et variées dans leurs régions les plus voisines.

Le sphène des roches trachytiques enveloppe des éléments plus anciens : apatite, zircon, etc., peu d'inclusions vitreuses.

Il abonde comme élément accessoire dans les roches acides, surtout dans les granites à amphibole, les syénites, diorites, syénites éléolithiques, trachytes, phonolithes. Il se rencontre en assez grande quantité dans les schistes cristallins riches en éléments magnésiens et ferreux, gneiss et schistes amphiboliques ; il est plus rare dans les roches éruptives basiques.

M. Hautefeuille l'a reproduit en fondant de l'acide silicique et de l'acide titanique dans un excès de chlorure de calcium.

Thorite. $ThO^2SiO^2(ThSiO^4)$. — D'un jaune orangé, elle a les formes et les propriétés optiques du zircon.

Xénotime. — Malgré la différence de sa composition chimique, le xénotime $3(Y,Ce)OP^2O^5$ montre également les formes très voisines de celle du zircon et des propriétés optiques analogues.

CHAPITRE XXXV

ZIRCON.

Zircon. ZrO^2,SiO^2 $(ZrSiO^4)$. — Cristallisé en prismes quadratiques (fig. 265), allongés suivant l'axe principal, montrant les formes $p,m,h',b^{1/2},b'$, où $p'b'$ 118°20'.

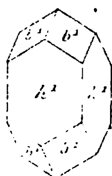


Fig. 265.

Isomorphe de la cassitérite et du rutile.

Densité : 4,6 à 4,7 ; dureté : 7,5 .

D'un beau rouge hyacinthe, d'un jaune de miel, brun, verdâtre, incolore; rarement bleu; éclat adamantin. Clivages nets parallèles à l'axe. Indice de réfraction considérable :

1,9313. Axe optique positif; $n_g - n_p = 0,055$ à 0,062.

Le zircon en lames minces est presque incolore, d'un jaune ou d'un rose clair, rarement brunâtre, et souvent très pur, presque toujours peu allongé; il a souvent des couleurs vives.

Lorsqu'il est en inclusions dans d'autres matières, mica, cordiérite, etc., il détermine autour de lui des auréoles d'un polychroïsme intense. Il est infusible au chalumeau et insoluble dans les acides.

Le malacon est un zircon amorphe optiquement, ayant perdu sa structure cristalline.

Le zircon, après avoir été porphyrisé, est attaqué par l'acide

sulfurique concentré, ou mieux par le bisulfate de potasse; le produit de la fusion dissous dans l'acide chlorhydrique donne au papier de curcuma une couleur orangée caractéristique. Le précipité donné par la potasse dans les dissolutions de zircon est insoluble dans un excès d'alcali. Sainte-Claire Deville l'a reproduit en faisant agir l'acide hydrofluosilicique à une haute température, ou bien le fluorure de silicium sur le zircone ou celui du zircondium sur la silice.

Lovenite. — Silicate de soude, de chaux, de manganèse et de fer avec zircone et acides niobique et titanique.

Cristaux prismatiques, rarement tubulaires, monocliniques.

$$mm = 88°24' \quad md^{1/2} = 140°31 \quad h'd^{1/2} = 130°55.$$

Quelquefois en grains arrondis, souvent de couleur foncée et très polychroïques, variant du jaune de vin clair ou jaune vineux (n_p), au jaune verdâtre (n_m) et au jaune orangé ou rougeâtre (n_m). L'absorption la plus grande a lieu suivant n_g.

Densité : 3,5 ; dureté : 6. Plan des axes g'. Bissectrice aiguë négative inclinée de 19° environ sur l'axe de la zone $p'g'$.

Rosenbuschite. — Silicate de chaux avec acide titanique, zircon et fluorure de sodium, dont la formule se rapproche de



$$6CaO(7\,SiO^2, 2TiO^2, 2ZrO^2) + 4NaFl$$

Cette matière se présente en masses radiales, aciculaires souvent microscopiques, où l'on a pu constater au goniomètre la symétrie clinorhombique. ph' 101°47'. Clivages : p parfait, moins net h'. Densité : 3,3. La bissectrice aiguë négative est parallèle à la diagonale horizontale. La substance est d'un gris orangé variant au gris bleuâtre. Elle est facilement soluble dans l'acide chlorhydrique. Au microscope on la reconnaît à son allongement négatif. Elle se trouve dans les syénites éléolithiques de l'Amérique et dans les formations pegmatitiques à augite du sud de la Norvège.

CHAPITRE XXXVI

TITANATES, NIOBATES, ETC.

Pérowskite. $CaOTiO^2 = (CaTiO^3)$. — Pseudocubique. Cristaux d'apparence cubique, mais en cubes toujours modifiés par des biseaux ou des pointements irréguliers, qui possèdent, lorsqu'ils sont transparents, une double réfraction assez nette. Les faces du cube sont striées, tantôt suivant leurs arêtes, tantôt suivant leurs diagonales.

Elle montre en lames minces, en lumière polarisée, d'étroites bandelettes se croisant suivant les arêtes ou les diagonales des faces *p*. Mallard leur attribue la même structure qu'aux cristaux de boracite. Extérieurement, ils ont l'apparence de cubes modifiés par les faces du dodécaèdre rhomboïdal ou d'un dodécaèdre pentagonal (cristaux de l'Oural), celle d'octaèdres réguliers (cristaux du Tyrol). Dans les roches éruptives la pérowskite a la forme d'octaèdres réguliers. Indice de réfraction considérable.

Éclat adamantin, quelquefois métallique; couleur noire, brun noirâtre, jaune orangé, jaune plus ou moins clair. Dureté : 4,04; densité : 5,5.

Attaquable à chaud par l'acide sulfurique concentré.

Ebelman a reproduit la pérowskite en chauffant ensemble du calcaire et un silicotitanate alcalin ou un mélange de chaux, d'acide titanique et d'un carbonate alcalin. M. Hautefeuille l'a obtenue formée de lamelles biréfringentes en soumettant à une haute température un mélange fondu d'acide titanique, de silice et de chlorure de calcium à l'action lente d'un courant d'air humide chargé de vapeurs d'acide chlorhydrique. M. Léon Bourgeois à produit des octaèdres microscopiques de pérowskite en maintenant les éléments de cette matière dans divers mélanges de

silicates ayant la composition des roches volcaniques où on la rencontre.

Polycrase. $4RTiO^3 + RNbO^6 + 2H^2O.R = Y, Er, Ce, U, Fe$. — Orthorhombique *mm* = 141°48′ *h'a'* adj 131°2; Densité : 5 à 5; dureté : 6; noir; tend au brun rougeâtre en lames très minces. Poussière gris brunâtre.

Infusible; avec le sel de phosphore, elle donne un verre vert noirâtre qui devient vert pâle au feu d'oxydation; elle est difficilement attaquable par l'acide chlorhydrique.

Euxénite, voisine des polycrases. Dureté : 6; densité : 4,73 à 4,99.

Æschynite. Titanoniobate de cérium, lanthane, didyme, fer, avec thorium. — Orthorhombique. *mm* = 128°34; *pa'* 125°37. Noire ou brun rougeâtre foncé.

Au chalumeau infusible. Avec sel de phosphore au feu de réduction, verre brun foncé qui devient jaune pâle après addition de de nitre.

Yttrotantalite. $RO, M^2O^3(Ta,Nb)^2O^5 4$ aq. — Orthorhombique. *mm* = 123°12′ e^1g^1 138°12′. Clivage g^1 difficile; translucide en lames minces; inactif en lumière polarisée. Éclat résineux. Couleur d'un noir brunâtre. Poussière grise. Densité : 5,5 à 5,9; dureté : 5,5. Infusible au chalumeau.

Hjelmite. — Contenant les acides tantalique, niobique, stannique, tungstique, de l'yttria, de l'oxyde d'urane, des oxydes de fer et de manganèse, de la chaux et de l'eau d'un noir brunâtre. Densité : 5,82. Au chalumeau, donne de l'eau et décrépite sans fondre.

Tantalite. $(Fe,Mn)O(Ta,N6)^2O^5$. — Orthorhombique (parfois de l'étain). *mm* = 113°48′ $e^{4/9}g^1$ 151°26′ (en orientant les cristaux comme M. Des Cloizeaux). Clivage g^1. Densité : 7,8 à 8; dureté : 6 à 6,5; opaque; noire; poussière brune. Infusible au chalumeau.

Baiérine (*Niobite, Columbite*). $(FeMn)O(Ta,Nb)^2O^5 : (Fe,Mn)(Ta,Nb)^2O^6$. — Orthorhombique. *mm* = 100°40′ pa^2 152°7′, d'après M. Des Cloizeaux. Densité : 5,4 à 6,5; dureté : 6. Clivages h', plus difficile g^1, translucide en lames minces et fortement dichroïque

(images : rouge, cochenille et noire). Éclat résineux; opaque en masse; d'un noir assez vif; poussière brun rougeâtre ou noir brunâtre. Infusible au chalumeau. Avec du carbonate de soude et du nitre produit une scorie d'un vert bleuâtre.

Fergusonite. $M^2O^7(Nb,Ta)^2O^5$, M = Y, Er, Ce. — Quadratique $b^{1/2}$ $b^{1/2}$ = 128°28′ sur h^1. Densité : 5,8; dureté : 5,5 à 6; éclat métalloïde. Opaque et noir brunâtre; devient transparente en lames minces. Infusible au chalumeau, perd de l'eau et devient gris verdâtre lentement attaquée par l'acide chlorhydrique; liqueur jaune.

Samarskite. $ROM^2O^33(Nb,Ta)^2O^5$ ou $R,M^2(Nb,Ta)^6O^{18}$ ou R = Fe, Ca et M = Y, Er, Ce, U. — Orthorhombique. *mm* = 122°46′ *a′a′* = 93° sur *p* d'après Des Cloizeaux. Densité : 5,53; dureté : 5,5: opaque; éclat métalloïde; d'un noir de velours; poussière d'un brun rougeâtre foncé. Au chalumeau fond difficilement sur les bords en scorie noire.

CHAPITRE XXXVII

TUNGSTATES.

Schéelite. $CaOWO^3$ ou $CaWO^4$. — Quadratique *pa′* 114°14′. En général les formes a^2, a^3 se montrent hémiédriques (parahémiédrie). Clivage facile a^1, interrompu b^1, axe optique positif.

n_o = 1,918 n_e = 1,934 pour le rouge (Dx)
1,919 à 1,935

Éclat tendant à l'adamantin. Incolore, grisâtre, jaunâtre, tendant au brun. Densité : 6 à 6,07; dureté : 4,5 à 5. Difficilement fusible au chalumeau; donne les caractères du tungstène. Abandonne de l'acide tungstique soluble à l'ammoniaque. La solution chlorhydrique bleuit à chaud par l'étain.

Stolzite. $PbOWO^3(PbWO^4)$. — Quadratique p, $a^1 = 122°33'$. Éclat gras adamantin. Gris, verdâtre, brun, rougeâtre. Densité : 8,1 ; dureté : 3. Difficilement fusible au chalumeau. Donne les caractères du tungstène et du plomb.

Hübnérite. $MnOWO^3$. — Noir brunâtre. Difficilement fusible.

CHAPITRE XXXVIII

CARBONATES.

§ 1. — CARBONATES RHOMBOÉDRIQUES.

Le groupe des carbonates anhydres est remarquable parmi ceux de subtances isomorphes. Tous cristallisent dans le système rhomboédrique et se clivent suivant les faces de rhomboèdres très voisins les uns des autres et dont on note les faces p.

Angle *pp*	105°5'	dans le	calcaire	$CaCO^3$
	107°10' à 107°30'	—	magnésite	$MgCO^3$
	106°15' à 106°20'	—	dolomie	$(Ca,Mg)CO^3$
	107°	—	sidérose	$FeCO^3$
	106°50' à 107°	—	diallogite	$MnCO^3$
	106°12'	—	ankérite	$(Ca,Mg,Fe,Mn)CO^3$
	107°18'	—	pistomésite	$(Mg,Fe)CO^3$
	107°14'	—	mésitine	$(2Mg + Fe)CO^3$
	107°40'	—	smithsonite	$ZnCO^3$

Tous sont uniaxes optiquement et négatifs. Dans le calcaire l'ellipsoïde isotherme a son grand axe vertical ; rapport des axes horizontaux au vertical : 0,893. Dans tous les autres, le petit axe est vertical; rapport des axes horizontaux au vertical variant de 1,06 à 1,07. Tous font effervescence dans les acides ; mais le calcaire presque instantanément, le carbonate de zinc assez rapide-

ment, celui de manganèse plus lentement, ceux de fer, de magnésie ou de chaux et de magnésie, de fer et de magnésie très lentement.

Calcaire. — On y a signalé plus de 150 formes simples rhomboédriques et une quantité innombrable de formes combinées, toutes se clivant indistinctement suivant les faces du rhomboèdre p (V. fig. 46, p. 62).

On ne rencontre pas souvent le rhomboèdre primitif, mais un grand nombre de rhomboèdres obtus ou aigus, les uns ayant leurs faces tournées vers celles du primitif (*directs*), les autres *inverses* (faces de l'un situées vis-à-vis des arêtes de l'autre), le plus fréquent des rhomboèdres inverses est le rhomboèdre aigu e^1, (fig. 266); on observe souvent aussi le prisme hexagonal e^2 combiné ordinaire-

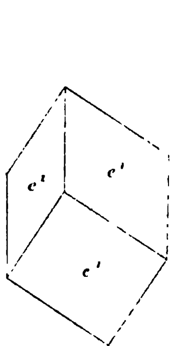


Fig. 266.

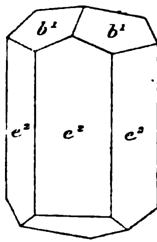


Fig. 267.

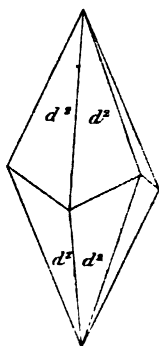


Fig. 268.

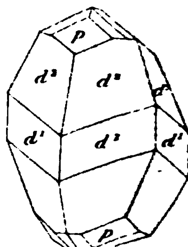


Fig. 269.

ment au rhomboèdre obtus inverse b^1 (fig. 267), plus rarement le prisme hexagonal d^1 et un assez grand nombre de scalénoèdres, c'est-à-dire de doubles pyramides hexagonales qui se coupent suivant un polygone gauche et dont le plus ordinaire est d^2 (fig. 268), plusieurs isocéloèdres ou doubles pyramides à base commune hexagonale et plane. Les macles sont fréquentes :

1° La plus simple s'opère avec a^1 pour plan de jonction; elle est ordinaire dans le scalénoèdre d^2. Un des cristaux a tourné

de 60° par rapport à l'autre autour de l'axe ternaire (fig. 270).

2° Plan de jonction parallèle à p; axe d'hémitropie normal à p. Cristaux en cœur du Derbyshire.

3° Plan de jonction parallèle à e^1; axe d'hémitropie normal.

4° *Parallèle a* b^1. Axe d'hémitropie normal à b^1. Celle-ci est la plus fréquente dans le calcaire des roches qu'elle caractérise; on en observe la trace fine sur le plan des sections minces. On peut la produire artificiellement, en appuyant la lame d'un canif sur une arête près d'un angle obtus, presque perpendiculairement, comme si on voulait détacher du cristal son angle solide, on voit toute la portion située du côté de cet angle comme repoussée, se redresser vis-à-vis de la face adjacente. Stelzner a émis l'opinion que dans les cristaux à l'intérieur desquels elle se présente naturellement en produisent des séries parallèles de lames hémitropes, elle pourrait bien y avoir été déterminée par des pressions accidentelles.

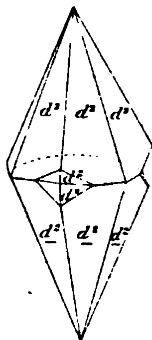


Fig. 270.

Densité du calcaire pur réduit en petits grains de la grosseur d'un grain de millet : 2,72; dans les échantillons ordinaires : 2,6 à 2,65 quelquefois 2,8 par suite de mélanges.

Dureté : 3; inférieure quand on l'essaie sur une face p en remontant d'un angle solide e vers le sommet a, sur la diagonale inclinée, plus forte en sens contraire.

Transparence troublée par les lames hémitropes qui déterminent, comme l'a fait observer M. Des Cloizeaux, des phénomènes d'astérie ou de couronnes et par des nuages de petits cristaux orientés suivant p et d^2.

Double réfraction énergique. On sait que c'est dans le calcaire qu'Erasme Bertholin a découvert la double réfraction en 1670 et l'on connaît les beaux travaux d'Huyghens, qui ont précédé ceux de Fresnel. Indice ordinaire $n_o = 1,6585$; $n_e = 1,48635$ pour n_o-$n_e = 0,1721$ pour la raie D. D'après Fizeau, n_e augmente plus

vite que n_o avec l'élévation de la température. Le rayon ordinaire est beaucoup plus fortement absorbé que l'extraordinaire, à cause de l'indice élevé de réfraction, les sections minces ont un grand relief; elles paraissent rugueuses; les couleurs y sont très vives. Dans les agrégats fibreux et radiés des roches éruptives on aperçoit pour des directions convenables des fibres les figures d'interférence et la croix noire avec le signe négatif propre à l'axe optique. On peut aussi apercevoir quelquefois ce phénomène dans les calcaires oolithiques.

Éclat vitreux. Le calcaire dans les roches est quelquefois incolore, mais souvent aussi coloré en jaunâtre, en verdâtre, en brun, en rouge, plus rarement en rose ou en bleu par des matières ferrugineuses et quelquefois organiques; il renferme souvent des inclusions; il présente toutes les textures possibles : lamellaire, laminaire, saccharoïde, compacte, pisolithique, oolithique, sphérolithique.

Caractères chimiques : soluble avec effervescence dans les acides et, une fois l'acide saturé par l'ammoniaque, la liqueur précipite par l'oxalate d'ammoniaque. On peut dans les sections minces reconnaître dans le calcaire la présence de quantités même assez petites de carbonate de magnésie. Après avoir débarassé la section du baume de Canada, on la traite par une solution de phosphate d'ammoniaque mêlée d'acide acétique; s'il y a du carbonate de magnésie, il ne tarde pas à former une croûte de phosphate ammoniacomagnésien à la surface de la plaque.

Reproduction. — On doit à James Hall une expérience devenue célèbre; car elle a été le début de la géogénie expérimentale. James Hall a transformé la craie en marbre, en la chauffant à une température élevée dans un tube de fer clos.

Giobertite. — Carbonate de magnésie : $MgOCO^2$. Isomorphe du calcaire. Forme de clivage : un rhomboèdre de 107°25'. Ordinairement ce carbonate n'offre des masses importantes qu'à l'état terreux (ex. : le carbonate de magnésie blanc, terreux, semblable à de la craie, de Baldissero, Piémont).

Il est très lentement soluble, même à chaud et en poudre, dans l'acide chlorhydrique, ce qui permet de se débarrasser facilement, par l'ammoniaque, du fer ou du manganèse, dont il contient quelquefois de petites quantités; la magnésie y devient alors facile à reconnaître; car, au chalumeau, il est coloré en rose.

Dolomie proprement dite : $(\frac{1}{2}\,Ca, \frac{1}{2}\,Mg)\,CO^3$ ou $\frac{1}{2}\,CaOCO^2 + 1/2\,MgOCO^2$ (*Dolomit*, all.). — Carbonate double de chaux et de magnésie, en proportions égales, isomorphe du calcaire. Densité : 2,9; dureté : 3,51 quand elle est pure. Éclat nacré. Couleur : blanche, grisâtre ou jaunâtre.

La dolomie se dissout dans l'acide azotique, mais lentement et sans effervescence apparente; pulvérisée, elle se dissout rapidement, lorsqu'on la chauffe légèrement. La solution traitée par l'acide sulfurique, puis par l'alcool, et dépouillée par filtration du sulfate de chaux, dépose par évaporation des cristaux de sulfate de magnésie ou donne un précipité blanc cristallin comme la giobertite, avec le phosphate de soude ammoniacal.

Dans les sections minces, la dolomie n'offre pas les lamelles hémitropes, parallèles à h^1, si fréquentes dans les calcaires (voir les variétés aux roches dolomitiques).

Outre ses formes rhomboédriques, le carbonate de chaux présente dans la nature des formes qui appartiennent au système orthorhombique; on l'appelle *aragonite* et il est isomorphe des carbonates terreux et de celui de plomb.

Angle de *mm*	= 116°17';	de e^1g^1	= 125°40' dans	aragonite	$CaCO^3$
	= 117°48';	—	= 126°8'	withérite	$BaCO^3$
	= 117°18';	—	= 125°54'	strontianite	$SrCO^3$
	= 117°13';	—	= 125°32'	céruse	$PbCO^3$

Dans tous ces cristaux, on connait des clivages *m* et g^1 mais imparfaits. Les groupements ont lieu très fréquemment autour d'un axe pseudo-sénaire et les assemblages ainsi formés prennent un faciès hexagonal. Ils font tous effervescence dans les acides.

§ 2. — CARBONATES ANHYDRES ORTHORHOMBIQUES.

Aragonite. $CaCO^3$. — Formes m, e', g', donnant une sorte de prisme hexagonal, où $mm = 116°17'$; mg^1 121°51' et qui est surmonté du dôme $e^1e^1 = 108°28'$ sur p. Souvent deux cristaux s'accolent suivant une face m avec axe d'hémitropie normal à m (Bilin, Bohême).

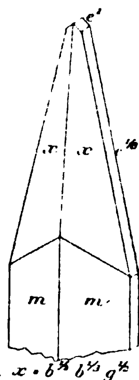


Fig. 271.

Les cristaux de Vertaison (Puy-de-Dôme) présentent le même prisme combiné à des faces $e^{1/2}$ qui donnent un dôme plus aigu ($e^{1/2}e^{1/2}$ sur $p = 69°32'$) et aux faces $x = b^{1/2}b^{1/4}g^{1/2}$ d'après Mallard (fig. 271). On observe aussi des formes e^2, e^3, $b^{1/2}$, etc.

La figure 272 montre une des associations très variée des cristaux autour de l'axe vertical. La structure de ces groupes est souvent très complexe. Quelquefois ces groupes déjà complexes semblent s'associer à leur tour, soit à angle droit, soit dans des directions sans rapport avec les lignes ou les plans cristallographiques réalisés dans l'espèce.

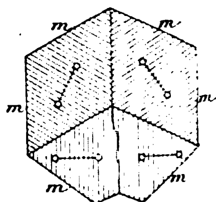


Fig. 272.

Plan des axes optiques g^1. Bissectrice aiguë négative normale à p, $\rho > v$; $2E = 30°40'$.

Indices de réfraction : $n_g = 1{,}68589$, $n_m = 1{,}68157$, $n_p = 1{,}53013$ pour la raie D. $n_g - n_p = 0{,}15576$. Dureté : 3,5 à 4; densité : 2,93. Couleurs : blanc, grisâtre, jaune, vert. Faces souvent raboteuses, profondément striées par les angles rentrants que forment les groupements multiples.

Il dissout un peu moins vite que le calcaire. On a dit que l'aragonite ne peut se former à une température ni trop haute, ni trop basse. On trouve l'aragonite et le calcaire ensemble dans les cavités de quelques basaltes.

Withérite. $BaCO^3$. — Cristaux toujours maclés en double pyramide hexagonale, combinée à un prisme de même section et à la base, composée de six cristaux disposés en verticille autour d'un axe pseudo-sénaire et présentant chacun la forme $g^1e^{1/2}, e^{1/2}g^1 =$ 145°36'. La forme a un certain faciès rappelant le cristal de roche. Dureté : 3 à 3,5; densité : 4,28 à 4,3.

Mêmes caractères optiques que pour l'aragonite. Au chalumeau, se gonfle, fond en émail blanc, colore la flamme en vert. Soluble avec effervescence dans les acides; la liqueur précipite par l'acide sulfurique, ainsi que par les sulfates de chaux et de strontiane.

Strontianite. — Espèce assez peu abondante. Cristaux isolés très rares; d'ordinaire ils sont groupés comme ceux d'aragonite; plan des axes h^1 $\rho > v$. Bissectrice aiguë normale à p. Le plus souvent en baguettes minces et allongées suivant l'axe vertical. Éclat vitreux, un peu résineux dans la cassure. Incolore, grisâtre, verdâtre. Densité : 3,715; dureté : 3,5.

Colore la flamme en rouge pourpre et au travers d'un bleu en rose; fond en perle alcaline en forme de choufleur; la solution dans les acides précipite par le sulfate de chaux.

Alstonite. $(Ba,Ca)CO^3$ ou $BaOCO^2 + CaOCO^2$. — Se présente en doubles pyramides hexagonales, qui, en lumière polarisée, se montrent composés de douze secteurs triangulaires. Plan des axes h^1; bissectrice négative parallèle à l'axe vertical; angle apparent des axes très petit. Au chalumeau, offre les caractères de la baryte et de la strontiane.

Barytocalcite. $BaOCO^2 + CaOCO^2$ bacillaire; système cristallin clinorhombique. Dureté : 4; densité : 3,665.

§ 3. — CARBONATES HYDRATÉS.

Carbonates hydratés. — Malgré l'intérêt qu'elle pourrait avoir au point de vue purement minéralogique, l'étude de ces matières, Natron, Trona, Thermonatrite, Carbonates de soude hydratés, solubles dans l'eau, n'est pas très utile au point de vue de la détermi-

nation des roches; c'est surtout une étude chimique. On peut appeler l'attention sur :

Gay-Lussite. $(Na^2Ca)CO^3$ ou $Na^2OCO^2 + CaOCO^2 + 5H^2O$ dont les formes ont la symétrie clinorhombique. — On y observe : $mm = 68°50'$ à faces conviées; $pe^1 = 125°15'$, $pb' = 136°30'$ et des cristaux allongés dans le sens de la diagonale inclinée; on a comparé ces cristaux à des clous. Clivages faciles *m*, difficile *p*. Plan des axes et bissectrice aiguë normale à g^1. Dispersion croisée. Densité : 1,94; dureté : 2,5. Fusible au chalumeau; en partie soluble dans l'eau; soluble entièrement dans les acides.

(Voyez les métaux qu'ils concernent au sujet des carbonates de manganèse, de zinc, de plomb et de cuivre.)

CHAPITRE XXXIX

SULFATES.

§ 1. — SULFATES ANHYDRES ORTHORHOMBIQUES.

Ils sont isomorphes.

Angles de *mm*	de pe^1	de pa^2	dans	
101°40	126°18	141°50	$BaSO^4$	Barytine
103°58	128°21	140°35	$SrSO^4$	Célestine
103°43	127°48	140°36	$PbSO^4$	Anglésite
96°36	132°30		$CaSO^4$	Anhydrite

Barytine (*Spath pesant*).

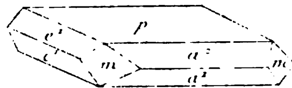


Fig. 273.

Formes *pm*, e^1a^2 octaèdres rectangulaires, pe^1a^2, variété dite *trapézienne* (fig. 273), dont les faces latérales ont la forme de trapèzes, pma^2e^1; b', $b^{1/2}$, $b^{3/4}$, a^1, etc. Clivages *p* très faciles, puis *m*, plus difficiles g^1, h^1.

Variétés de forme. — Laminaire, lamellaire, grenue, compacte, concrétionnée, radiée, globuleuse. Certaines variétés sont formées de tables rhomboïdales, minces, groupées en éventails (barytine crétée) ; d'autres se replient comme des intestins (pierres de tripes) ; il en est de colorées en jaune brunâtre par des matières bitumineuses, parfois cylindrique à fibres disposées autour de l'axe en formant des couches concentriques et dont les sections ressemblent à celle du bois.

Couleurs : incolore, blanche, jaunâtre, rosée, brunâtre, parfois bleue. Éclat vitreux, un peu résineux sur les faces m, un peu nacré sur les faces p. Densité : 4,48 ; dureté : 3 à 3,5. Plan des axes g^1. Bissectrice aiguë normale à $h^1 \rho > v$. Indice de réfraction moyen 1,576. Double réfraction énergique. Propriétés thermiques. Le grand axe de l'ellipsoïde est normal à h^1, le moyen à g^1, le petit à p $a : b : c = 1,0614 : 1,0264 : 1$.

Le quartz, la pyrite, la dolomie remplacent quelquefois la barytine disparue. La barytine décrépite au chalumeau, fond difficilement, colore la flamme en vert jaunâtre, surtout si on la mouille avec un acide. Sur le charbon, elle donne avec le carbonate de soude les caractères des sulfates. Elle est insoluble dans l'eau et dans l'acide sulfurique.

C'est une substance de filons qui sert de gangue aux minerais de la Norvège, du Hartz, de la Saxe, de la Bohême, de la Hongrie, de l'Angleterre. On en rencontre d'assez beaux cristaux dans des veines au milieu des granites, à Wittichen, en Souabe, à la Courtade, à Enval, Puy-de-Dôme ; dans les arkoses voisines des granites, par exemple, à Royat, près Clermont-Ferrand, aux environs d'Autun, d'Alençon, à Chessy, etc.

Un curieux gisement est celui de cristaux de formation moderne, déposés par des eaux minérales des environs de la Malou, qui traversent les filons de l'Uselade, Hérault.

Célestine. — Forme ordinaire des cristaux de Sicile pme^1a^2, allongés parallèlement à l'axe de la zone pe^1. Dans les cristaux de la craie de Meudon et de Bougival, près Paris, dominent les faces

e^1 et i ($b^{1/2}$ $b^{1/4}$ $g^{1/3}$) variété *apotome* d'Haüy. Clivages p nets; puis m et g^1. Mêmes caractères optiques que pour la barytine. Indice de réfraction moyen 1,625 pour la raie D. Couleurs incolore; bleu céleste pâle, rougeâtre. Éclat vitreux; caractères thermiques $a : b : c = 1,037 : 1,083 : 1$. Ici b normal à g^1 est plus grand que a normal à h^1, c vertical reste le plus petit axe. Dureté : 3 à 3,5; densité : 3,96.

Variétés : bacillaire, lamellaire, fibreuse, globulaires, grenues. Au chalumeau, elle fond en globule d'un blanc de lait et colore la flamme en rouge carmin, surtout si on la mouille avec de l'acide chlorhydrique.

Elle est associée au calcaire ou à des grès dans le gypse, les marnes, le sel gemme et dans l'argile; en Sicile elle accompagne le soufre natif; on la trouve en France, dans les marnes kimméridiennes de Ville-sur-Saulx; en rognons ovales dans les argiles néoromiennes de Vassy, Haute-Marne, dans les fentes de silex de la craie de Meudon, près Paris, en plaques fibreuses à Iéna, en Égypte dans la numulitique, etc. On a attribué la coloration bleue à du phosphate de fer ou peut-être mieux à un sulfure provenant de la réduction du sulfate.

Anglésite. — Voyez aux minerais de plomb.

Anhydrite (*Karsténite*). — Généralement en masses divisées ou facilement divisibles suivant trois plans de clivage rectangulaires entre eux p et g^1 faciles, h^1 plus difficile sur p, quelquefois des stries qui font ensemble un angle de 96°36′, qui sont les traces des pans m d'un prisme qu'on choisit comme pans de la forme primitive. Sur quelques échantillons on voit des faces appelées e^1 ; sur ceux de Bex, Suisse, des faces $b^{3/2}$, b^1, $b^{1/2}$. Dureté : 3 à 3,5; densité : 2,9 à 2,98.

Plan des axes portiques parallèle à p. Bissectrice aiguë positive, normale à h^1.

L'ellipsoïde isotherme a pour constantes $a : b : c = 0,89 : 0,964 : 1$. L'anhydrite très peu soluble dans l'eau, un peu plus soluble dans l'acide chlorhydrique, colore la flamme en rouge jaunâtre; elle est

réductible sur le charbon, en formant du sulfure du calcium. On la rencontre en masses laminaires d'une certaine importance, en Savoie, près Modane, en cristaux isolés à Aussee, Autriche, à Bex, Suisse, à Hall, Tyrol, etc. Quelquefois les masses d'anhydrite se transforment en gypse. Une partie des calcaires qui les renferment sont rongés et des traces de soufre semblent démontrer qu'elles résultent de l'altération de calcaires sous l'influence d'eaux minérales.

Glaubérite. $Na^2CaS^2O^8$ ou $Na^2OCaO2SO^3$. En primes clinorhombiques de 83°20'. Clivables suivant leurs bases, modifiés sur leurs arêtes *d*. Densité : 2,7 à 2,8; dureté, 3. On y observe d'assez grandes variations dans l'angles des axes à des températures différentes.

SULFATES HYDRATÉS

Gypse. $CaSO^4+2aq$. — Les cristaux appartiennent au système clinorhombique et se clivent facilement en feuilles aussi minces qu'on veut et qui, pour de faibles épaisseurs, deviennent remarquablement flexibles et élastiques. Le plan de facile clivage est celui de symétrie des cristaux g^1. Des deux côtés de g^1 se trouvent des faces prises comme pans de la forme primitive $mm = 111°30'$. En infléchissant les lames de clivage perpendiculairement à leurs plans, dans deux directions convenables, on obtient encore assez facilement deux plans de clivage assez nets, dont l'un à cassure *fibreuse* est inclinée de 113°51' sur l'arête *mm* en avant; on prend cette direction plane pour base. Il est démontré aujourd'hui que ce plan est en réalité un biseau obtus; c'est par conséquent l'arête de ce biseau qui fait avec l'arête *mm* l'angle susdit. Le second plan de clivage, perpendiculaire à g^1, est h^1; il est parallèle à l'arête *mm* et il a une cassure vitreuse. Les faces du biseau de clivage font entre elles un angle de 138°40'; ce serait les faces e^1. Les angles des faces *mm*, ph', e^1e^1 permettent de fixer les dimensions de la forme primitive $b : h = 1 : 0,3305$.

Angle plan de la base 106°40'14".

Les cristaux de la variété dite trapézienne sont composés des formes (fig. 274).

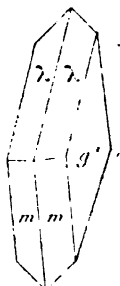


Fig. 274.

$m, g^1, \lambda \quad \lambda = b^1\, b^{1/3}\, h^1 = a_3 \quad \lambda\lambda = 143°48'$.

Ceux de Bex ajoutent souvent aux faces précédentes les formes e^1, $e^{1/2}$, et un assez grand nombre d'autres dont les faces sont parallèles à l'axe de la zone mg^1.

Groupements. — Dans un premier mode, deux cristaux sont accolés suivant un plan parallèle à h^1 avec renversement de l'un d'eux qui est comme l'image de l'autre vue dans un miroir. C'est le groupement de beaucoup de cristaux des argiles plastiques et le plus fréquent (fig. 275).



Fig. 275.

Dans un second mode de groupement, habituel aux cristaux exploités comme pierres à plâtre dans l'éocène parisien, deux cristaux se réunissent deux à deux suivant une face $a^{1/2}$ inclinée de 118°35′ sur la base p et de 127°34′ sur la face h^1 postérieure. Les faces sont ordinairement arrondies et, comme les plans g^1 des deux demi-cristaux, sont sur le prolongement l'un de l'autre; on obtient en dirigeant une lame tranchante au travers du groupe suivant leur plan de clivage facile des sections qui ont la forme de *fer de lance* sur les sections g^1 (fig. 276); le clivage h^1 de l'un des individus est presque parallèle au clivage p de l'autre renversé. L'angle rentrant est d'environ 123°. Ces lentilles sont quelquefois remplacées par de la silice qui conserve leurs formes.

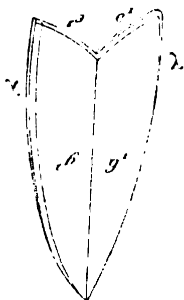


Fig. 276.

La flexibilité, l'élasticité, la facile production de lames très minces à l'aide du clivage ont fait du gypse une des matières qui ont rendu le plus de service pour l'étude des propriétés phy-

siques des cristaux, comme on peut le voir aux chapitres de cet ouvrage ayant trait à l'élasticité, aux figures de décollement, aux figures de choc ou de pression.

Propriétés optiques. — Le plan des axes optiques est g^1. La bissectrice aiguë moyenne positive fait un angle de — 13°57′ avec p (en comptant à partir de p en sens inverse des aiguilles d'une montre).

L'angle réel des axes = 61°24′ à 9°; de 9° à 80°, il diminue et à 80° il est nul. Au dessus de 80°, les plans d'axes sont perpendiculaires à g^1 et la dispersion est horizontale. La plaque soumise à l'observation montre les phénomènes primitifs, une fois refroidie.

Caractères thermiques. — L'ellipse des conductibilités thermiques sur g^1 a son grand axe à 17° de l'arête *mm*. le rapport des axes = 1,247. Cette ellipse est semblable à celle qu'on obtient par décollement. Nous croyons avoir démontré que ces axes de décollement ont aussi la direction et les relations de grandeur des lignes principales de densité réticulaire, d'élasticité de flexion et d'élasticité sonore.

Dureté : 2; le gypse se raie avec l'ongle, ce qui le distingue des substances naturelles avec lesquelles on pourrait le confondre; densité : 2,32. Couleurs : incolore et transparent; quelquefois jaunâtre ou coloré en rouge par de l'oxyde de fer. Variété laminaire, lamellaire, saccharoïde, semblable au marbre dont il se distingue par son peu de dureté, bacillaire, fibreuse avec un éclat soyeux, compact, d'un blanc pur et translucide (albâtre tendre).

Il est souvent mélangé à du sable, parfois à de l'argile. Il cristallise avec tant d'énergie qu'il empâte avec lui de grandes quantités de sable, tout en conservant sa forme, comme le calcaire dans le grès dit *grès cristallisé de Fontainebleau.*

Il fond au chalumeau, s'exfolie, perd son eau, devient friable et opaque (*plâtre*); il colore la flamme en jaune rougeâtre. Pulvérisé avec du charbon mêlé ou non avec du carbonate de soude, puis chauffé énergiquement au chalumeau, il se transforme en sulfure de calcium, lequel, humecté d'eau acidulée, noircit une lame d'ar-

gent ou le papier d'acétate de plomb, et, traité par l'ammoniaque et l'oxalate d'ammoniaque, donne un précipité blanc d'oxalate de chaux.

Minéraux accidentels mêlés au gypse : *sel gemme*, *anhydrite*, *mica*, *boracite*, *quartz*, *pyrite*, etc.

Il se trouve en amas subordonnés dans les micaschistes (Alpes de la Carinthie) ; dans le silurien, au Canada ; dans le permien de la Thuringe et de la Russie ; dans le trias de Mansfeld, et en particulier dans les marnes irisées, en France (à Salins, à Lons-le-Saulnier, à Bex) ; dans le lias des Cévennes ; dans le wealdien des environs de Cognac, etc. ; dans l'éocène supérieur, aux environs de Paris ; dans le tertiaire des Karpathes, d'Aix en Provence ; du Bolognais en Italie (avec soufre natif). En Lorraine, les amas de gypse, ramifiés à leurs extrémités, ont plié à leur forme les roches stratifiées qui les enveloppent.

Glaubérite. — Sulfate de soude et de chaux : $(Na^2, Ca)So^4$, ou Na^2OSO^3, $CaOSO^3$.

Forme : celle d'un prisme unioblique de 83°20'. Densité : environ 2,7. Éclat vitreux. Couleur d'un gris sale. La glaubérite fond facilement au chalumeau et colore la flamme en jaune. Lorsqu'on la traite par l'eau, le sulfate de soude se dissout et le sulfate de chaux se précipite. La liqueur donne la réaction de l'acide sulfurique.

Alunite, Cordier. *Mine d'alun* (*Alaunstein*, all.). — Roche compacte, uniforme ou porphyroïde, souvent arénacée, ou bréchoïde, de couleurs assez claires tirant sur le gris, le jaune, ou le rose, formée d'alunite. Ce minéral est un sulfate d'alumine et de potasse hydraté, dont la formule $K^2OSO^3,3Al^2O^3SO^3,6H^2O$ peut s'écrire aussi : $K^2OSO^3, Al^2O^3\ 3SO^3 + 2(Al^2O^33H^2O)$. Le premier terme de cette seconde formule représenterait une espèce d'*alun anhydre* ; le second exprime la composition de l'ydrate d'alumine appelé *gibbsite*.

L'alunite cristallise en rhomboèdres de 89°10', clivables et aplatis suivant a^1 et souvent en agrégats compliqués et entremêlés

avec du quartz, en concrétions fibreuses ou granulaires, à faciès terreux, à toucher un peu âpre.

Axe optique positif.

$$n_o = 1,572 \quad n_e = 1,592 \quad n_e - n_o = 0,02$$ (M. L. et L.).

Densité : 2,6 à 2,8.

L'alunite est infusible et se dissout dans l'acide sulfurique et la lessive de potasse après échauffement. Elle résulte de l'altération des feldspaths acides des roches brachytiques, au Mont-Dore, à la Tolfa, près Civita-Vecchia, Italie, etc.), par des émanations d'acide sulfureux.

Lorsque l'on calcine l'alunite, elle donne d'abord une odeur sulfureuse, puis une saveur alumineuse; et la masse calcinée reprise par l'eau produit de l'alun.

Aluminite. — Sulfate d'alumine hydraté ($Al^2SO^6,9H^2O$, ou $Al^2O^3SO^3,9H^2O$), ordinairement mamelonné, d'un blanc mat, tendre terreux, quelquefois oolithique, soluble dans l'acide azotique. Dans le tube bouché, cette matière dégage de l'eau, et, au rouge naissant, de l'acide sulfureux. Elle n'existe qu'en nodules ou en veines dans l'argile plastique (Mont-Bernon, près Épernay; environs de New-Haven, côte d'Angleterre).

CHAPITRE XL

PHOSPHATES.

Phosphates, arséniates, vanadates, avec chlore ou fluor.

Un certain nombre ont le même type chimique; ils sont hexagonaux et isomorphes.

Angle de b^1b^1 à la base	Dans	
80°44′	pyromorphite	$Pb^5P^3O^{12}Cl$ ou $3PbOP^2O^5 + \frac{1}{3} PbCl^2$
81°	mimétèse	$Pb^5As^3O^{12}Cl$ ou $3PbOAs^2O^5 + \frac{1}{3} PbCl^2$
80°38′	apatite	$Ca^5P^3O^{12}$ (Cl,Fl)
78°52′	vanadinite	$Pb^5V^3O^{12}Cl$ ou $3PbOV^2O^5 + \frac{1}{3} PbCl$

Apatite. — Chlorophosphate de chaux; une partie du chlore est dans certaines concrétions remplacée par de l'iode.

Hexagonale avec parahémiédrie

$$p,\ b^{1/2},\ b^1,\ b^2;\ a^1,\ \frac{1}{2}\,a_2,\ \frac{1}{2}\,a_3\,;$$

a_2 est l'abréviation conventionnelle de $b^1b^{1/2}\,h^1$

et a_3 l'est de $b^1b\,\frac{1}{3}\,h^1$.

Les formes a_2 et a_3 seraient des doubles pyramides à douze faces; elles sont ramenées à celles de dihexaèdres obliques sur les plans de symétrie par suite du manque de la moitié de leurs faces.

Dans les gabbros dominent les prismes combinés aux pyramides b^1. Dans les schistes cristallins, l'apatite se montre plutôt en grains allongés ovales, à contours mal définis. Dans les grains cristallisés, les sections transversales sont des hexagones, les prismatiques des rectangles longs ou courts, ou des hexagones dont deux angles opposés sont très aigus.

Clivages, p, m difficiles, qu'on n'observe que dans les grands cristaux; souvent les cristaux allongés sont séparés comme en tronçons isolés, et quelquefois déplacés les uns par rapport aux autres.

L'apatite est incolore; elle peut être colorée en vert d'asperge, en jaunâtre, en bleu violacé, en brun. Elle a l'éclat un peu résineux. En lames minces on la distingue en général au milieu des éléments auxquels elle se trouve associée (biotite, néphéline, feldspaths) par son éclat vif, brillant, son relief qui tient à son indice de réfraction élevé.

Les couleurs d'interférence dans les plaques minces dépassent à

peine le blanc du premier ordre; elles restent dans les tons gris. En lumière convergente, croix noire sans anneaux.

$n_\omega = 1,64607$ $n_\epsilon = 1,64172$ pour la raie D dans l'apatite du Zillerthal, d'après Schrauf. $n_g\text{-}n_p = 0,00435$. Les variétés colorées sont parfois dichroïques. Dureté : 5 ; densité : 3,19 à 3,23.

Elle est soluble dans les acides et la liqueur traitée par la dissolution azotique de molybdate d'ammoniaque précipite en jaune à chaud. On peut aussi obtenir un précipité par l'acide sulfurique étendu. L'apatite donne les réactions du chlore, quelquefois du fluor ; certaines variétés traitées par une goutte d'acide hydrofluosilicique montrent les faces prismatiques du fluosiliciure de manganèse.

Un certain nombre d'apatites sont criblées d'inclusions gazeuses, liquides, quelquefois vitreuses, quelquefois entassées en amas, ou en aiguilles alignées parallèlement au contour.

Elle abonde dans les roches éruptives, surtout dans les basiques, et les schistes feldspathiques anciens ; elle semble avoir perdu de son importance dans les roches plus jeunes.

L'apatite se montre en cristaux de plus de $0^m,7$ de long et de $0^m,3$ d'épaisseur à Québec. Des cristaux de $0^m,6$ de long arrivent à former en quelque sorte une couche de plus de 3 mètres de puissance dans un calcaire grenu, à South-Burgon et à Elmsley, Canada, et dans le New-Jersey. En Estramadure, dans la province de Cacérès, à Logrosan et Trujillo, des filons de cette matière se répandent dans le silurien et le granite qui le traverse. En cristaux de volume plus ou moins médiocre, elle se rencontre dans la plupart des roches granitiques, cristallisées, schisteuses, éruptives, et dans les filons de minerais d'étain ou de fer.

Mélangée à du calcaire, l'apatite en nodules remplit des poches au milieu du terrain crétacé. En France, dans le Tarn-et-Garonne, à Caylus, à Pandaré, dans le Lot, à Cajare, etc., des concrétions mamelonnées, des rognons de chlorophosphate de chaux mêlés à du calcaire et à une argile ocreuse servent de ciment à des poudingues quartzeux qui remplissent des cavités de 35 mètres de diamètre ou des fentes dirigées est-nord-est, ouest-sud-ouest. Les

ossements recueillis dans ces poches démontrent que les sources thermales auxquelles est due cette formation analogue sans doute aux geysérites ont duré probablement depuis l'âge du gypse parisien, jusqu'au milieu du miocène. Du phosphate de chaux se retrouve encore dans les coprolithes du Bone-Bed, au Calvados, etc., dans le gault en forme de rognons où il est mêlé à du calcaire et à de la glauconie avec pyrite et argile charbonneux, à Vissant, Pas-de-Calais, dans les comtés de Kent et de Surrey, en Angleterre, à Machirosmesnil, Ardennes, dans la Meuse, la Marne, l'Yonne, à Bellegarde, sur les bords du Rhône, où il est parqué dans le test des coquilles, dans l'Ain, l'Isère, la Drôme, la Savoie, jusque dans les Alpes-Maritimes, en Algérie, etc.

Nous ne pourrions ici mentionner tous les gisements de cette matière si recherchée aujourd'hui par l'agriculture. Nous ne ferons que citer le guano des îles du Chili, des côtes du Pérou, des Antilles, où le phosphate est mêlé à de l'oxalate de chaux.

Reproduction. — Daubrée a reproduit l'apatite hexagonale en faisant agir des vapeurs de chlorure de phosphore sur de la chaux vive; Manross, en fondant du phosphate de soude tribasique avec un excès de fluorure de calcium, de chlorure de calcium ou des deux mélangés; Forchammer, en fondant du phosphate tribasique de chaux dans un excès de chlorure de sodium; Debray, en faisant passer des vapeurs d'acide chlorhydrique sur du phosphate tribasique de chaux, porté au rouge.

Wagnérite. Mg^2PO^4Fl ou $3MgOP^2O^5 + MgFl^2$. — Clinorhombique. *mm* = 95°24′ en avant; *ph'* ant. 108°07′; *pe'* 144°25′. Clivages *m*, *h'* imparfait. Densité : 3 à 3,2; dureté : 5 à 5,5. Jaune de vin et citron; blanc rosé; éclat vitreux, un peu gras; translucide. Difficilement fusible en verre d'un gris verdâtre, soluble dans les acide azotique et sulfurique. Très rare.

Kjérulfine. $2Mg^2P^2O^8 + CaFl^2$.

Clivages imparfaits h^1, g^1, de Havredal, paroisse Bamle, Norvège. A pris la forme de la wagnérite par pseudomorphose.

Reproduction. — Sainte-Claire Deville et Caron fondaient du phos-

phate tribasique d'ammoniaque avec du fluorure de magnésium et un excès de chlorure de magnésium; après lessivage, ils ont obtenu des prismes clinorhombiques ayant une densité de 3,45 et montrant $mm = 95°47'$ ph^1 108°12'.

En n'employant que le chlorure de magnésium, ils ont eu de la wagnérite chlorée.

On peut produire des fluophosphates de fer et de manganèse dans les mêmes conditions, ou même du fluophaste de chaux si on ajoute un excès de chlorure de calcium.

Les chloro ou fluophosphates tribasiques de baryte, strontiane ou plomb cristallisent dans le système hexagonal, ainsi que le chloro ou fluophosphate tribasique de chaux naturel; celui-ci offrant par conséquent un type *wagnérite* et un type *apatite*.

Wavellite. $3Al^2O^3 2P^2O^5 + 12H^2O$. — Orthorhombique, $mm =$ 126°95' $a'a'$ 106°46' sur p. Clivages m. Plan des axes g^1; Bissectrice aiguë positive normale à h'; $\rho > v$. Dureté : 4; densité : 2,38.

Incolore, grisâtre, verdâtre; éclat vitreux.

Au chalumeau infusible, décrépite. Soluble dans l'acide chlorhydrique et dans la potasse. Donne les réactions du fluor et de l'alumine. Elle forme en général des boules fibreuses à structure convergente, gisements schistes anciens ; filon d'étain de Montebras, etc.

Amblygonite. — Fluophosphate d'alumine, de lithine, de soude et de potasse. Elle cristallise dans le système triclinique; elle forme des masses en général blanches, laminaires, montrant des clivages faciles m, plus difficiles p et i^1; ces masses sont très maclées. $pm = 105°45$ $pt = 95°$ d'après Des Cloizeaux. Densité : 3,09 à 311; dureté : 6. L'amblygonite fond facilement en verre opalin; colore la flamme en jaune rougeâtre; elle contient de 6 à 9 o/o de lithine.

Des Cloizeaux en a distingué la *montebrasite* qui contient de l'eau et qui a des caractères optiques un peu différents. Il faudrait en distinguer aussi la *morinite* de M. A. Lacroix.

Klaprothine. $MgOAl^2O^3P^2O^5 + aq.$ — Clinorhombique. $mm =$

92° en avant; $ph^1 = 90°47'$; $pe^1 = 120°33'$. Clivages m; macle suivant h^1 avec axe de rotation normal au plan de jonction. Densité : 3,06 à 3,12; dureté : 5 à 6. D'un bleu plus ou moins foncé; polychroïque. Infusible au chalumeau; s'attaque difficilement par les acides.

Turquoise. — Phosphate hydraté d'alumine contenant des oxydes de fer et de 2 à 7 o/o d'oxyde de cuivre. C'est une matière très recherchée en joaillerie, lorsqu'elle est d'un beau bleu de ciel ou d'azur; parfois verte, de différentes nuances; à éclat vitreux, à peine translucide en esquilles minces et qui montre à de forts grossissements une structure franchement cristalline. Densité : 2,62; dureté : 2,62 à 2 8. Soluble dans les acides; donne les caractères du cuivre au chalumeau.

Turquoise osseuse. — C'est une matière verte, qui consiste en dents de mammifères fossiles colorées par de la vivianite et dont la couleur d'un vert d'abord clair se fonce de plus en plus à l'air.

Monazite. — Phosphate de cérium, lanthane, didyme, thorine, erbine et yttria. Clinorhombique, $mm = 93°22'$ ph^1 103°46' pe^1 138°10'; cristaux souvent chargés de facettes h^1, g^1, o^1, e^1, $e^{1/2}$, $g^{3/3}$, $d^{1/2}$, etc. Clivage net p — puis h^1 et g^1.

Plan des axes optiques normal à g^1. — Bissectrice aiguë positive, très voisine de l'axe vertical; $\rho > v$. Axes optiques peu écartés; plusieurs raies d'absorption au spectroscope. Rouge avec des nuances variant du jaune au brun. Densité : 5,09 à 5,3; dureté : 5,5. Infusible au chalumeau, soluble dans les acides.

La *turnérite* ne présente que de légères différences avec la monazite, en particulier celle d'un clivage assez facile suivant g^1.

Nitratine. $NaAzO^3$ ou $Na^2OAz^2O^5$. — Rhomboèdres de 106°33' isomorphes du calcaire. Clivages parallèles aux faces du rhomboèdre; on peut sur les cristaux à l'aide d'une lame tranchante qu'on appuie sur une des arêtes de l'angle solide culminant a déterminer la production de la macle b^1, à la manière de Baumhauer, aussi bien que dans le calcaire. Axe optique négatif comme dans le calcaire.

La nitratine forme des grains plus ou moins nettement cristallisés, des croûtes de quelques pieds d'épaisseur, associées à du gypse, du sel gemme, du sel de Glauber et à des coquilles modernes, dans le district de Tarapaca, au Chili.

Nitrocalcite. — Nitrate de chaux, $CaAz^2O^6$ + aq. très déliquescent, en fibres soyeuses, efflorescentes, dans les calcaires du Kentucky.

Salpêtre (*Nitre*). $KAzO^3$ ou $K^2OAz^2O^5$. — Orthorhombique. *mm* = 118°50'. Formes mpg^1 — $mg^1h^{1}\,{}^2e^1$; pe^1 = 144°59'. Clivage parfait e^1 moins net g^1 et *m*.

Plan des axes h^1. — Bissectrice aiguë négative, normale à *p* — $\rho > v$. 2E = 6°15 pour le rouge; 8°45' pour le bleu. Densité : 1,933 ; dureté : 2. Fusible au chalumeau, colore la flamme en violet, soluble dans l'eau.

En efflorescences ou en croûtes à la surface des sels calcaires ou marneux, dans les cavernes, sur des murs humides ; s'exploite dans les nitrières artificielles.

Borax. $Na^2B^4O^7$ + 10 aq. — Cristallise dans le système clinorhombique. *mm* = 87° isomorphe géométriquement du pyroxène ; *ph'* = Bissectrice aiguë négative perpendiculaire au plan de symétrie. Dispersion croisée. Petit axe de l'ellipsoïde isotherme perpendiculaire au plan de clivage h^1. Densité : 1,7 à 1,8 ; dureté : 2,5. Soluble dans l'eau.

Boracite. 2 $3MgO.4B^2O^3$) + $MgCl^2$. — Substance pseudocubique montrant sous la forme cubique l'hémiédrie antiparallèle ou antihémiédrie $p\frac{1}{2}a^1$, $\frac{1}{2}a^1$, $pb^1\frac{1}{2}a^1$; ses propriétés optiques la font regarder comme composée de cristaux rhombiques groupés autour d'un centre, dont les faces *p* forment celles du pseudo-cube dans le groupe. Les faces h^1 sont les plans des axes optiques et ces axes optiques ont leur bissectrice aiguë parallèle aux grandes diagonales des faces du dodécaèdre rhomboïdal. La boracite étudiée par Mallard devient cubique optiquement comme géométriquement au-dessus de 265°. Mallard a trouvé 4^{cal},8 pour la chaleur latente de transformation. Densité : 2,9 à 3 ; dureté : 3.

CHAPITRE XLI

COMPARAISON DES NOTATIONS DE MILLER ET DE LÉVY

Ce qu'on appelle notation de Lévy, c'est la notation d'Haüy exprimée par des signes faciles à imprimer. Lorsqu'Haüy expliquait « comment la cristallisation parvient à faire sortir d'un espace si resserré (la molécule soustractive) cette multitude presque infinie de corps si diversifiés par le nombre, par les figures et par les combinaisons des faces qui la terminent » (1), il remplaçait les fragments à dimensions vagues que Romé de l'Isle enlevait aux angles et aux arêtes d'une forme pour obtenir les autres, suivant la méthode dite des *troncatures*, par ce qu'il appelait les molécules soustractives, auxquelles sa théorie des décroissements permettait de donner des dimensions. Haüy a montré que d'une forme primitive d'une espèce minérale on pouvait dériver des formes observées ou prévues de la même espèce; il a donné les moyens de calculer les dimensions des *molécules intégrantes* qui entrent dans la composition des *soustractives*. La cristallographie était créée.

Lévy a rendu plus palpable la conception géniale d'Haüy en rapportant aux arêtes d'un angle solide d'une forme primitive, toujours extérieurement visible, les dimensions de la molécule soustractive d'Haüy; il a remplacé les majuscules au moyen desquelles Haüy représentait les éléments d'une forme par des minuscules; il a écrit sous la forme d'un exposant à droite de l'élément les valeurs numériques qu'Haüy écrivait en dessus et il a eu la bonne fortune de donner son nom à la notation d'Haüy ainsi modifiée.

(1) Haüy, *Traité de cristallographie*, t. I, p. 51.

Mais, si le symbole b^1 représente par abréviation conventionnellement le symbole complet $b^1b^1b^1$ dans le cube d'une face quelconque du dodécaèdre rhomboïdal, il a l'inconvénient de représenter à la fois toutes les faces d'une même forme. On peut aussi faire à la notation de Lévy, employée par les cristallographes français, lorsqu'elle détermine la position des faces d'un cristal au moyen des segments qu'elles interceptent sur les arêtes des angles solides de la forme primitive, le reproche de choisir pour cette dernière forme un prisme qui a l'avantage d'avoir deux dimensions égales sur trois dans les systèmes orthorhombique et monoclinique, mais dont les arêtes ont l'inconvénient d'être indépendantes des directions principales des surfaces qui expriment les variations des propriétés physiques, et en même temps complètement arbitraires, ce qui permet à un auteur de remplacer une forme primitive choisie par son prédécesseur par une autre qu'il préfère. Aussi les cristallographes étrangers ont-ils cherché à représenter d'autres manières la position des faces dans un cristal non seulement comme longueur mais comme strictions. Nous ne pourrions dans cet ouvrage élémentaire exposer les divers systèmes de notation qui rendent souvent très laborieuse l'étude des mémoires qui décrivent les formes d'une même espèce minérale; nous nous contenterons de présenter quelques tableaux qui permettent de traduire la notation dite de Lévy en notation de Miller pour les plus ordinaires.

Presque tous les auteurs aujourd'hui écrivent pour chaque forme à la suite du symbole qu'ils adoptent le symbole correspondant dans la notation de Miller.

Au premier abord la traduction paraît des plus simples : Miller écrit les uns à la suite des autres les dénominateurs des fractions employées par Lévy. Au lieu de $b^{\frac{1}{x}}b^{\frac{1}{y}}b^{\frac{1}{z}}$, représentation d'une face d'un hexoctaèdre cubique pour Lévy, Miller écrit (xyz). Mais, premièrement, au moyen d'une permutation tournante des caractéristiques écrites dans un certain ordre et regardées comme po-

sitives ou négatives, suivant l'endroit où elle est placée, ce n'est plus une facette quelconque de la forme, mais une de ses facettes déterminée qui est désignée par le symbole de Miller. En outre, Miller compte à partir du centre les segments interceptés par une face, non pas sur des parallèles aux arêtes des prismes rhombiques choisis comme primitifs, mais sur des parallèles aux diagonales des bases de ces parallélipipèdes, qui sont toutes les deux des axes de symétrie binaire dans le système orthorhombique et dont l'une reste un axe de symétrie dans le système clinorhombique ou monoclinique, Miller garde le même axe vertical que Lévy. Tandis que, pour fixer la position d'une face dans le cristal, Lévy prend comme axes des coordonnées les trois arêtes parties d'un même sommet qu'elle rencontre les premières, comme centre ce sommet et compte les segments $\frac{1}{x}, \frac{1}{y}, \frac{1}{z}$ interceptés par la face à partir du sommet, tandis qu'il choisit, par exemple, pour fixer les symboles de la face HKL (fig. 17, p. 42), le point o pour sommet et compte sur les arêtes $oc = d$, $oi = f$, $oa = h$, les segments $\frac{1}{x} d$, $\frac{1}{y} f$, $\frac{1}{z} h$, Miller caractérise la position d'une face dans un cristal au moyen des dénominateurs (u, v, w) des segments $\frac{1}{u}$, $\frac{1}{v}$, $\frac{1}{w}$, interceptés à partir du centre du cristal (fig. 32) sur les 3 axes ma, mb, md menés par le centre m, l'un ma parallèlement à l'axe vertical, les deux autres parallèlement aux diagonales mb, md, d'un prisme HH'RR'MM' inscrit dans celui de Lévy. La figure 22, p. 49, montre le prisme rectangulaire oblique de Miller, HH'KK'MM', inscrit dans le prisme clinorhombique *aeoe'ea'eo'* de Lévy. Dans le système clinorhombique, l'un des axes de Miller a une direction constante, celle de l'axe unique de symétrie binaire. Dans le système orthorhombique, les trois axes de Miller sont les trois axes de symétrie binaire, rectangulaires entre eux.

Dans le triclinique, deux des axes de Miller restent parallèles aux diagonales de la base du prisme de Lévy; mais ils n'ont plus,

ni l'un, ni l'autre, une direction fixe dans le cristal ; dans tous ces systèmes, les deux axes de Miller parallèles aux diagonales de la base du prisme de Lévy ont pour unité de longueur la moitié de la demi-diagonale correspondante.

Cette transformation d'axes de coordonnées force à faire un petit calcul. Si on appelle u, u, w les caractéristiques de Miller, x, y, z les dénominateurs des fractions de Lévy, dans les symboles les plus généraux $b^{\frac{1}{x}} b^{\frac{1}{y}} b^{\frac{1}{z}}$ ou $b^{\frac{1}{x}} b^{\frac{1}{y}} b^{\frac{1}{z}}$, il y a entre les quantités u, v, w d'une part et les quantités x, y, z d'autre part les relations $u = \frac{x+y}{2}$, $v = + \frac{x-y}{2}$, $w = z$, comme le montreront les tableaux suivants dans chacun des différents systèmes cristallins.

Système cubique.

Formes	Lévy	Miller
Cube	p	(100)
Octaèdre	a^1	(111)
Dodécaèdre rhomboïdal. . . .	b^1	(110)
Hexatétraèdres.	$b^{\frac{x}{z}}$	$(x\ z\ o)\ x > z$
	b^2	(210)
Trapézoèdres	$a^{\frac{x}{z}}$	$(x\ z\ z)$
	a^2	(211)
Octotrièdres	$a^{\frac{z}{x}}$	$(x\ x\ z)$
	$a^{1/2}$	(221)
Hexoctaèdres	$b^{\frac{1}{x}} b^{\frac{1}{y}} b^{\frac{1}{z}}$	$(xyz)\ x > y > z$

Système hexagonal et rhomboédrique

Pour le système hexagonal, nous croyons plus utile de donner la notation de Bravais, préférée de beaucoup maintenant à celle de Miller pour ce système. Bravais rapporte les faces à quatre axes ; l'un est celui de symétrie sénaire. Les trois autres sont les axes de sy-

métrie binaire porallèles aux arêtes basiques du prisme primitif de Lévy. On remarquera qu'une des trois caractéristiques horizontales est égale à la somme des deux autres, prise en signe contraire.

Système hexagonal.

			Caractéristiques de Bravais (4 axes).	
Base		p	(0001)	
Prisme	protoprisme	m	$(10\bar{1}0)$	
	deutéroprisme	h^1	$(11\bar{2}0)$	
Prisme dodécagoues		$h^{\frac{x}{y}}$	$(xy\bar{z}o)$	$\bar{z}=x+y$
Isocéloèdres	sur les arêtes	$b^{\frac{z}{x}}$	$(xo\bar{x}z)$	
		b^1	$(10\bar{1}1)$	
	sur les angles	$a^{\frac{z}{x}}$	$(xx\overline{2x}z)$	
		a^1	$(11\bar{2}1)$	
Didodécaèdres		$b^{\frac{1}{x}}b^{\frac{1}{y}}h^{\frac{1}{z}}$	$(xy\overline{x+y}z)$	

Système rhomboédrique.

	Lévy	Miller	
Rhomboèdre primitif	p	100	
Base	a^1	111	
Prismes (protoprisme)	e^2	$11\bar{2}$	
(deutéroprisme)	d^1	$10\bar{1}$	
Rhomboèdres sur b	b^1	110	
— a	$a^{\frac{m}{n}}$	mnn	$m>n$
	$a^{\frac{n}{m}}$	nnm	
— e	$e^{\frac{m}{n}}$	$m\bar{n}\bar{n}$	
	$e^{\frac{n}{m}}$	$mm\bar{n}$	$\frac{m}{n}>2$
Scalénèdre sur d	d^2	$20\bar{1}$	

Système quadratique

Formes	Lévy	Miller	
Base	p	$(0\,0\,1)$	
Prisme primitif	m	$(1\,1\,0)$	
Prisme inverse	h^1	$(1\,0\,0)$	
Prismes octogones . . .	$h^{\frac{x}{y}}$	$\left(\frac{x+y}{2}, \frac{x-y}{2}, o\right)$	$x>y$
— — . . .	h^2	$(3\,1\,0)$	
Octaèdres sur les arêtes .	$b^{\frac{z}{2x}}$	$(x\,x\,z)$	$x \gtrless z$
— — .	$b^{\frac{1}{2}}$	$(1\,1\,1)$	
— — .	b^1	$\left(\frac{1}{2}\,\frac{1}{2}\,1\right)$ ou $(1\,1\,2)$	
Octaèdres sur les angles .	$a^{\frac{z}{x}}$	$(x\,o\,z)$	
— — .	a^2	$(1\,0\,2)$	
Dioctaèdres.	$b^{\frac{1}{x}}\,b^{\frac{1}{y}}\,h^{\frac{1}{z}}$	$\left(\frac{x+y}{2}\,\frac{y-x}{2}\,z\right)$	$x<y$
—	$b^1\,b^{1/3}\,h^{\frac{1}{2}}$	$\left(\frac{4}{2}\,\frac{2}{2}\,2\right)$ ou $(2\,1\,2)$	

Système orthorhombique

Formes			Lévy	Miller	
Base			p	$(0\,0\,1)$	
Faces parallèles aux plans de symétrie	de côté		g^1	$(1\,0\,0)$	
	de face		h^1	$(0\,1\,0)$	
Prismes rhombiques	primitif		m	$(1\,1\,0)$	
	de côté		$g^{\frac{x}{y}}$	$\left(\frac{x+y}{2}\,\frac{x-y}{2}\,o\right)$	$x>y$
			g^2	$\left(\frac{3}{2}\,\frac{1}{2}\,o\right)$ ou $(3\,1\,0)$	
			g^3	$\left(\frac{4}{2}\,\frac{2}{1}\,o\right)$ ou $(2\,1\,0)$	
	de face		$h^{\frac{y}{x}}$	$\left(\frac{y-x}{2}\,\frac{y+x}{2}\,o\right)$	$y>x$
			h^3	$\left(\frac{2}{2}\,\frac{4}{2}\,o\right)$ ou $(1\,2\,0)$	

			Lévy	Miller	
Dômes	de côté		$e^{\frac{z}{x}}$	$(x\ y\ z)$	
			e^1	$(1\ 0\ 1)$	
	de face		$a^{\frac{z}{y}}$	$(o\ y\ z)$	
			a^2	$(0\ 1\ 2)$	
Pyramides rhombiques	parallèles aux arêtes		$b^{\frac{z}{x}}$	$\left(\frac{x+y}{2}\ \frac{x-y}{2}\ z\right)$	
			$b^{\frac{1}{2}}$	$(1\ 1\ 1)$	
Pyramides quelconques	de côté		$b^{\frac{1}{x}}\ b^{\frac{1}{y}}\ g^{\frac{1}{z}}$	$\left(\frac{x+y}{2}\ \frac{y-x}{2}\ z\right)$	$y > x$
			$b^1\ b^{1/3}\ g^{1/2}$	$\left(\frac{4}{2}\ \frac{2}{2}\ 2\right)$ ou 2 1 2	
	de face		$b^{\frac{1}{x}}\ b^{\frac{1}{y}}\ h^{\frac{1}{z}}$	$\left(\frac{y-x}{2}\ \frac{y+x}{2}\ z\right)$	

Système clinorhombique

Formes		Lévy	Miller	
Base		p	$(0\ 0\ 1)$	
Face parallèle au plan de symétrie		g^1	$(0\ 1\ 0)$	
Face parallèle à l'axe de symétrie binaire, normale au plan de symétrie		h^1	$(1\ 0\ 0)$	
Prismes rhombiques	primitif	m	$(1\ 1\ 0)$	
	de côté	$g^{\frac{z}{x}}$	$\left(\frac{y-x}{2}\ \frac{y+x}{2}\ o\right)$	$y > x$
		g^2	$\left(\frac{1}{2}\ \frac{3}{2}\ o\right)$ ou $(1\ 3\ 0)$	
	de face	$h^{\frac{x}{y}}$	$\left(\frac{x+y}{2}\ \frac{y-x}{2}\ o\right)$	$x > y$
		h^3	$(2\ 1\ 0)$	
Dômes	de côté	$e^{\frac{z}{y}}$	$(o\ y\ z)$	
	de face	$a^{\frac{z}{x}}$	$(\bar{x}\ o\ z)$	
Hémioctaèdres parallèles aux arêtes basiques	antérieurs	$d^{\frac{z}{2x}}$	$(x\ x\ z)$	
	postérieurs	$b^{\frac{z}{2x}}$	$(\bar{x}\ x\ z)$	

Hémipyramides	de côté	antérieures .		$d^{\frac{1}{x}} b^{\frac{1}{y}} g^{\frac{1}{z}}$	$\left(\frac{y-x}{2}\,\frac{y+x}{2}\,z\right)$ $y > x$
		postérieures .		$b^{\frac{1}{x}} d^{\frac{1}{y}} g^{\frac{1}{z}}$	$\left(\frac{x-y}{2}\,\frac{y+x}{2}\,z\right)$
	de face	antérieures .		$d^{\frac{1}{x}} d^{\frac{1}{y}} h^{\frac{1}{z}}$	$\left(\frac{x+y}{2}\,\frac{y-x}{2}\,z\right)$
		postérieures		$b^{\frac{1}{x}} b^{\frac{1}{y}} h^{\frac{1}{z}}$	$\left(\frac{\overline{x+y}}{2}\,\frac{y-x}{2}\,z\right)$
				$b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{4}} b^{1}$	$(\bar{3}\,1\,1)$

Système asymétrique ou bioblique

				de Lévy	de Miller	
Faces de la forme primitive de Lévy	Base			p	001	
	Plans verticaux	Latéraux		g^1	010	
		Antéro-postérieur .		h^1	100	
		Hémi-prisme	droite . .		110	
			gauche .	m	$\bar{1}10$	
Hémiprisme à faces verticales quelconques	plus aigus que le primitif	à droite		$g^{\frac{p+q}{q-p}}$	pqo	$p > q$
		à gauche		${}^{\frac{p+q}{q-p}}g$	$\bar{p}qo$	
	plus obtus que le primitif	à droite		$h^{\frac{p+q}{p-q}}$	pqo	$p > q$
		à gauche		${}^{\frac{p+q}{p-q}}h$	$\bar{p}qo$	
Hémidomes ou 1/4 d'octaèdres parallèles	à la diagonale ant.-post.	supérieure	droite . .	$i^{\frac{r}{q}}$	oqr	
			gauche. .	$e^{\frac{r}{q}}$	$oq\bar{r}$	
	à la diagonale latérale	antérieure. . . .		$o^{\frac{r}{p}}$	por	
		postérieure . . .		$a^{\frac{r}{p}}$	$\bar{p}or$	

II. DES ZONES.

On appelle *zone* dans un cristal l'ensemble des faces qui se coupent parallèlement à une même direction; la droite menée par le centre parallèlement à cette direction est appelée l'*axe de la zone.*

Deux faces déterminent par leur intersection un axe de zone auquel sont parallèles toutes les faces de la même zone.

On reconnaît au moyen du goniomètre toutes les faces d'une zone, lorsqu'ayant disposé l'instrument de façon convenable, au moyen de la tige et de l'étrier (v. page 32), pour la mesure de l'angle de deux faces de cette zone, on n'a rien à modifier dans la position de la tige et de l'étrier pour la mesure de l'angle des autres faces de la zone avec l'une des précédentes.

On inscrit d'habitude à la suite les uns des autres les angles que font entre elles les faces d'une même zone, parce que cette disposition simplifie beaucoup les calculs qui permettent de déterminer la position des faces dans le cristal.

Tantométrie. — Si on a calculé au moyen de deux faces la direction de l'axe de la zone qu'elles déterminent par leur intersection, et qu'on transporte par la pensée au centre parallèlement à elles-mêmes toutes les faces du cristal, celles-ci ont l'axe pour intersection commune.

Si une face appartient à la fois à deux zones différentes et qu'on puisse calculer les axes de ces deux zones, ces deux axes sont deux droites connues de la face transportée au centre et la direction plane de la face dans le cristal est déterminée.

TROISIÈME LIVRE

LES ROCHES

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS SUR LES ROCHES

CHAPITRE PREMIER

ORIGINE ET ARRANGEMENT DES ROCHES.

La forme ellipsoïdale du globe, la température de plus en plus élevée de ses couches, à mesure qu'on les observe plus profondes, l'incandescence des masses de laves qui sortent des cheminées volcaniques, établissent ce fait fondamental, que la terre a passé par l'état de fusion. Par refroidissement, il s'est formé une première croûte solide, dont l'épaisseur s'est accrue avec la suite des temps.

Parmi les matières minérales qui entrent dans la composition élémentaire de cette écorce solide, un certain nombre y apparaissent en masses considérables, et souvent avec des caractères identiques ou très analogues, dans des régions très éloignées les unes des autres. C'est à ces masses que l'on a donné le nom de ROCHES.

L'eau qui recouvre la surface de la terre sur les deux tiers de son étendue, l'air qui l'entoure dans tous les sens, les vapeurs et les gaz qui s'échappent de ses profondeurs, méritent sans doute le nom de parties élémentaires du globe ; mais la détermination de ces éléments de notre planète ne peut se faire par les mêmes procédés que celle des roches proprement dites ou masses solidifiées. Quant au noyau du globe, à cette région enveloppée par la partie extérieure solide, l'on n'en connaît ni la composition ni l'état

physique. Il est très vraisemblable que la température en est très élevée; l'on sait que la densité moyenne y est plus grande dans les parties profondes que dans les superficielles; mais la composition en est entièrement conjecturale. On sait que la densité moyenne du globe est supérieure à 5,6 et la densité des roches les plus pesantes ne dépasse guère 3.

L'on regarde les roches appelées *gneiss*, à éléments cristallins, disposés suivant des feuillets assez distincts les uns des autres, comme étant de celles qui résultent de la solidification due au refroidissement lent du globe terrestre. Un grand nombre de géologues y ajoutent certains granites à grains fins. Les roches de cette origine sont appelées *fondamentales*.

Aussitôt que la température a été assez basse à la surface de la terre, l'eau répandue dans l'atmosphère, et chargée de vapeurs de différente nature, dissoutes ou condensée, en même temps qu'elle, a commencé son rôle chimique comme dissolvant, et son rôle mécanique comme moteur, qui entraînait sur certains points déjà plus bas des débris, des détritus arrachés à des roches situées dans des régions plus élevées.

Ces débris sont tantôt des parties de la roche, qui sont restées ce qu'elles étaient avant la dissociation de ses éléments, par exemple les sables; tantôt des espèces minérales, auxquelles les roches décomposées n'ont fourni qu'une partie de leur substance, par exemple un grand nombre de calcaires. Les roches de cette origine ont souvent l'aspect de la terre qui couvre les champs. On les appelle, dans ce cas, *terreuses*. On les nomme surtout *sédimentaires*, c'est-à-dire déposées par les eaux, et *stratifiées*, ce qui signifie qu'elles sont disposées en strates, en couches successives parallèles.

Il est une troisième origine des roches également fort importante. Dès les époques les plus reculées, il s'est produit dans l'écorce terrestre des crevasses, des fentes gigantesques, où ont été injectées, à un état plus ou moins pâteux, les roches dites *éruptives*, auxquelles se rapportent la plupart des granites, les porphyres,

les trachytes. A cet ordre se rapportent aussi les roches volcaniques, soulevées à l'état de fusion ignée, telles que les basaltes, les laves et les matières déversées ou rejetées encore aujourd'hui sous nos yeux par les cratères des volcans, sous la forme de masses épanchées, de coulées, de scories, de lapilli, etc.

Tels sont donc les grands ordres de roches caractérisées par des relations très différentes de position : 1° les roches cristallisées de refroidissement, dont les plus anciennes sont les plus extérieures et superposées aux plus récentes; 2° les roches sédimentaires ou terreuses, dont les premières dans l'ordre des temps sont les plus profondes, et recouvertes par les plus modernes, disposition inverse de la précédente; 3° les roches éruptives, que l'on subdivise en roches volcaniques et roches d'épanchement, poussées au travers de celles qui existaient déjà au moment de la sortie. Les roches éruptives ont leur base dans les régions profondes du globe, et se rattachent, sans doute, au moins par l'époque de leur consolidation, à des enveloppes concentriques du noyau intérieur, qui se sont ajoutées à l'écorce du globe les unes après les autres, de dehors en dedans.

Mais les vapeurs atmosphériques, aussitôt après leur première condensation, les eaux superficielles qui pénétraient, qui circulaient dans les fentes et les crevasses des parties superficielles, et surtout les émanations des régions plus profondes du globe, tout cela devait tendre dès le principe à modifier plus ou moins la nature minéralogique des roches. Dans les unes, certains éléments ont été transformés; dans les autres, il s'est introduit des éléments nouveaux. Les mouvements de la croûte solide ont donné lieu à des phénomènes mécaniques; des argiles de texture inconnue, plus ou moins stratifiées, sont devenues schisteuses et fissiles, c'est-à-dire divisibles en feuillets très minces, suivant des plans orientés tout autrement que ceux de la stratification. Ailleurs, des sables, des fragments de roches ont été agglomérés par un ciment qui s'y est infiltré; parfois la roche est sillonnée par des veines distinctes de matières étrangères.

L'on appelle plus particulièrement *métamorphiques* les modifications produites par le concours de l'eau et des vapeurs minérales, qui ont agi à une température élevée, sous une pression forte, en même temps que par des phénomènes mécaniques dus aux mouvements de l'écorce, dont les masses modifiées faisaient partie. Les ROCHES MÉTAMORPHIQUES sont celles qui ont subi ces modifications. La plupart des géologues y rapportent les schistes chloriteux et talqueux, les micaschistes et les phyllades, etc.

Les phénomènes de métamorphisme sont des plus nets dans les parties des masses éruptives et des roches encaissantes qui se trouvent en contact. Il faut reconnaître que la plupart des roches méritent plus ou moins le nom de métamorphiques; car il en est bien peu qui soient restées identiques à ce qu'elles étaient au moment de leur formation.

En outre, autour des grandes crevasses remplies par les roches éruptives, il y a comme une auréole de fentes, où des sources thermales, venues en partie des profondeurs, ont apporté des matières minérales souvent métallifères. Ce sont les FILONS.

Il faut ajouter enfin à toutes ces roches celles d'*origine organique*, comme les divers charbons fossiles, qui proviennent d'anciens végétaux amenés par des altérations profondes à ces divers états sous lesquels nous apparaissent aujourd'hui l'anthracite, la houille, le lignite et la tourbe. A cet ordre se rattachent les coprolites et le guano. Nous admettons par conséquent les ordres suivants de roches, en les considérant d'après leur mode de formation :

A. Roches cristallines de refroidissement;
B. R. sédimentaires provenant de détritus des autres altérés ou non, et terreuses, plus rarement cristallines;
C. R. cristallisées en amas transversaux : 1° *éruptives*; 2° *volcaniques*;
D. R. sédimentaires redevenues cristallines :

1° En totalité par métamorphisme;

2° En partie par l'introduction de ciments ou de matières étrangères ;

E. R. en filons, en amas;

F. R. d'origine organique.

CHAPITRE II

DE LA DÉTERMINATION DES ÉLÉMENTS DES ROCHES.

En général, on cherche d'abord si une roche peut être du premier coup classée parmi les pierres, les métaux, ou les masses combustibles. La densité ou poids d'une certaine quantité prise dans la main, l'éclat donnent déjà de premiers indices; si elle est métallique, on essaie son action sur un barreau aimanté, en même temps que la couleur de sa poussière. Quelques essais au chalumeau permettent de déterminer rapidement la nature du métal. On trouvera les renseignements nécessaires sur cette question au chapitre de cet ouvrage ou, plus complets encore, dans le traité d'analyse au chalumeau de Kerl (1), traduit par nous avec de nombreuses additions.

Aujourd'hui, on supplée à l'insuffisance des renseignements donnés par le chalumeau pour la recherche des bases terreuses ou alcalino-terreuses par des essais microchimiques (Voy. p. 241).

Lorsque la roche a le faciès pierreux, on essaie la dureté de ses parties au moyen de l'ongle; le gypse, les matières talqueuses ou argileuses peuvent seules être rayées; puis on les attaque avec de l'acide chlorhydrique ou azotique dont on mouille le bout d'une tige de verre pointue. Le calcaire et les carbonnates font effervescence à froid ou à chaud dans les acides. On cherche à reconnaître

(1) *Le Chalumeau*, traduction libre du traité de Kerl, par Ed. Jannettaz (J. Rothschild, éditeur, 1876). Prix : 3 fr. 50.

la structure de la roche à l'aide de la loupe ou de plus forts grossissements; on voit si elle est grenue, à grains grossiers ou fins, tout à fait compacte, porphyroïde ou porphyrique, vitreuse, schisteuse, d'aspect terreux. On essaie de la pointe d'un burin. On verra que les éléments d'une roche rayés par la pointe d'un burin offrent les caractères des sulfates, ou des phosphates, etc. (Voir au chapitre des caractères chimiques). S'ils ne sont pas rayés, on cherchera leur fusibilité; le quartz est infusible ; le feldspath ne l'est qu'en fines esquilles; l'amphibole, le pyroxène sont plus faiblement fusibles. On examinera aussi la couleur des éléments qu'on appelle noirs (mica, amphibole, pyroxène, hypersthène), ou simplement colorés (les mêmes et, en plus, péridot, serpentine, diallage).

Les éléments colorés sont, en général, caractéristiques; pour les déterminer, il faut les isoler avec soin; on distinguera souvent ainsi les lamelles flexibles et élastiques de mica d'avec les prismes rigides d'amphibole ou de hornblende, qui se distinguent entre eux par leurs angles. Enfin, on a recours à l'observation des sections minces.

Mais tous ces essais, toutes ces observations ont souvent besoin d'être confirmés par l'analyse chimique. Il ne peut entrer dans notre cadre même de résumer les méthodes si bien exposées dans une foule de traités spéciaux. En décrivant chacune des espèces minérales qui entrent dans la composition des roches nous avons indiqué les principaux essais chimiques à l'aide desquels on peut la distinguer. Nous croyons devoir indiquer seulement la prépation mécanique qui doit précéder une analyse de roche, et sur laquelle repose la certitude des résultats. Ceux-ci ne peuvent être qu'illusoires si le triage n'a pas été rigoureux. L'analyse d'une roche en bloc est suffisante, si cette roche ne contient qu'un élément et qu'elle soit pure : c'est fort rare. Le plus souvent, deux ou plusieurs éléments se trouvent plus ou moins intimement mélangés.

Pour les séparer, il faut d'abord casser la masse en fragments

auxquels on fait traverser ensuite des séries de tamis à maille de 0mm,1 et au dessous. M. Fouqué conseille 1 millimètre, 0mm,3 et 0mm,2 comme largeur de mailles. On examine les différentes poudres avec une loupe montée, après les avoir étalées sur des papiers dont les couleurs contrastent avec celles des matières qu'on y observe. Cordier a le premier utilisé des barreaux aimantés pour extraire des basaltes l'oxyde de fer qu'ils contiennent. Delesse a plus tard employé de gros éléments pour séparer les éléments ferrifères de ceux sur lesquels le magnétisme est sans action. M. Fouqué se sert avec avantage d'un électro-aimant qui attire certaines parties des poudres plutôt que d'autres. Deux ou trois éléments suffisent pour le pyroxène, l'amphibole, le péridot; il en faut sept ou huit pour les minéraux pauvres en fer.

Souvent on attaque la poudre par les acides qui enlèvent certains de leurs éléments sans toucher aux autres. L'acide fluorhydrique a été employé ainsi avec succès par M. Fouqué pour séparer les uns des autres les éléments des laves de santorin. L'acide fluorhydrique concentré doit être manié, comme on sait, avec les plus grandes précautions. L'opération se fait dans une capsule de platine. L'acide fluorhydrique attaque d'abord les silicates amorphes, puis les feldspaths, puis le quartz cristallisé, et enfin les silicates ferrugineux; on l'emploie à froid en y jetant peu à peu la poudre pour ne pas donner lieu à une trop vive effervescence. Après une demi-heure d'action, on lave ce mélange d'alumine et de silice gélatineuse avec les minéraux ferrugineux non attaqués (1).

Souvent on opère mécaniquement le triage. On fait couler les poudres dans un courant d'eau très lent sur un plan incliné; elles se déposent par ordre de densité.

Procédé de M. Thoulet. — D'après les indications de M. Fouqué, M. Thoulet a fait une application des différences de densités des corps à leur séparation dans les roches où ils se trouvent si

(1) *Minéralogie micrographique* de MM. Fouqué et Michel Lévy, p. 116.

intimement associés. M. Thoulet emploie un tube rempli d'une dissolution saturée d'iodure de potassium et de biiodure de mercure. Il y introduit une certaine quantité de la roche concassée en petits grains de grosseur aussi égale que possible; les éléments plus lourds que la dissolution tombent au fond; les plus légers surnagent. En variant la nature et les proportions des matières dissoutes dans l'eau distillée, on peut obtenir des liqueurs où les grains de la roche concassée viennent s'étager les uns au dessus des autres. Le tube est fermé en bas par un robinet de large ouverture qui permet de recueillir les matières au fur et à mesure qu'elles sont entraînées par la liqueur pendant qu'on maintient ouvert le robinet. A sa partie inférieure, on en a soudé un autre latéral plus étroit qui permet d'aspirer la liqueur convenablement préparée, lorsqu'on y plonge tout l'appareil.

On a beaucoup modifié l'appareil précédent et essayé un grand nombre de liqueurs denses. Voici les dispositions les plus usitées en France en ce moment.

L'instrument est dû à Pennfield. Il se compose d'un premier tube de verre, semblable à un tube à essai, assez large et peu profond, ce qui en facilite de lavage; un second tube plus long, assez large dans toute sa partie supérieure entre par l'inférieure dans le premier, comme une sorte de bouchon; il est en effet façonné en bas comme un bouchon à l'émeri, mais comme un bouchon percé d'une couverture conique qui fait communiquer ensemble les deux tubes supérieur et inférieur.

Enfin, un troisième tube étroit, épais, est rodé à l'émeri; à son extrémité inférieure s'applique exactement l'ouverture conique, du bouchon creux; suivant qu'on soulève ou qu'on applique le tube en le pressant légèrement sur les parois de l'ouverture conique on rétablit ou on intercepte la communication des tubes larges supérieur et inférieur au bouchon.

On place dans le tube supérieur un liquide de densité intermédiaire à celles des éléments dont on suppose qu'un corps est formé. Après avoir pulvérisé celui-ci, on en introduit la poussière dans

le liquide. La densité des feldspaths, par exemple, est toujours assez voisine de 2,7 ; celle des pyroxènes toujours supérieure à 3 ; si on verse dans le tube supérieur un liquide de densité 3, les éléments du mélange finement pulvérisés se séparent; les grains de densité supérieure à 3 tombent au fond du tube supérieur, les plus légers surnagent. On soulève le tube intérieur étroit, on laisse couler dans le tube large inférieur la région basse du liquide et la poussière lourde qu'elle entraîne; puis on abaisse le tube intérieur; on bouche ainsi l'ouverture de communication et l'on retient dans le tube large d'en haut les parties les plus élevées du liquide et des éléments les plus légers.

En retirant ensemble le tube-bouchon et son tube intérieur, on peut vider séparément le tube inférieur et le supérieur.

Depuis quelques années, on a successivement préconisé l'emploi de plusieurs liquides denses; l'un des plus commodes est l'iodure de méthylène, liquide incolore, dont la densité est 3,35. On y ajoute de l'éther ou du xylène pour diminuer cette dernière. L'iodure de méthylène, il est vrai, par suite de la mise en liberté d'une certaine quantité d'iode, devient souvent brun avec le temps; mais on le décolore en l'agitant quelques instants avec du mercure et en le filtrant rapidement pour le séparer de l'iodure de mercure qu'on a produit par l'agitation.

Une dissolution d'iodure de méthylène contenant de l'iodure d'antimoine et de l'iodure d'arsenic peut atteindre une densité de 3,6 à 12°.

Dernièrement, M. Retgens a proposé des mélanges d'azotate d'argent et d'azotate de thallium. Un mélange à parties égales de ces deux substances fondu à 75° donne un liquide incolore dont la densité est 4,5. On diminue cette densité en ajoutant de l'eau.

CLASSIFICATION DES ROCHES

Avant tout, on doit se poser cette double question : Existe-t-il des roches qu'on puisse dire de même espèce, et quels seraient, dans ce cas, les caractères qu'on appellerait spécifiques? L'espèce

minérale est constituée par un individu dont la composition chimique est définie, et dont la structure lui est propre. Mais les roches sont des mélanges de matières réunies par des causes qui leur sont étrangères.

L'énorme portée dans l'espace et dans le temps de ces agents extérieurs donne une homogénéité saisissante à un grand nombre des masses du globe, et, par exemple, aux éruptions de laves et de basaltes, ou à tant de dépôts marins, tels que ceux de la craie blanche, le niveau des schistes bitumineux du permien où les écailles des poissons se trouvent uniformément épigénisées en minerais de cuivre, et beaucoup d'autres. Combien de fois arrive-t-il au géologue de trouver monotone toute une grande région !

Il est donc naturel de réunir, sous le même nom, des masses aussi semblables, et l'on peut dire que les membres d'un pareil groupe sont *de même espèce*, en n'attachant à ce mot qu'un sens conventionnel.

Pour classer les roches, nous nous sommes placés d'abord au point de vue minéralogique et nous avons réuni en un premier groupe général, que nous avons appelé *ordre*, celles qui sont formées de silicates ; nous avons ensuite admis les ordres des carbonates, azotates, phosphates, etc. L'ensemble de ces groupes correspondrait en minéralogie à la classe des *pierres*. Puis viennent la classe des *roches métalliques* et celle des *roches combustibles*.

Pour subdiviser les groupes salins ou métalliques, il n'est pas besoin de recourir à des considérations étrangères à la minéralogie. Il n'en est pas de même de celui des silicates. Si les autres matières venaient à disparaître, à coup sûr ce serait une grande privation pour nous qui avons appris à nous en servir ; mais, malgré les trous périlleux qui en résulteraient, l'ossature générale de notre planète garderait ses grandes lignes. En outre, c'est surtout dans l'étude de la structure et de la disposition relative de ces roches que nous trouvons les traces des évolutions successives du globe. Nous sommes donc obligés de tenir compte, à la fois, des données de la minéralogie et de celles de la géologie.

Les premières nous ont fourni le sujet d'une première subdivision. Les roches de l'ordre des silicates étant généralement un mélange de plusieurs espèces minérales, nous avons eu égard à ce fait que, parmi ces espèces, il y en a généralement une assez caractéristique par son abondance et ses propriétés, pour donner aux masses dont elle fait partie un certain air de famille. C'est dans ce sens que nous avons admis des roches feldspathiques, amphiboliques, pyroxéniques, diallagiques, talqueuses, micacées. Cela ne veut pas dire que l'élément qu'on peut appeler *dominateur* soit le seul essentiel. Nous appellerons *éléments essentiels* d'une roche ceux qui doivent toujours s'y rencontrer. Il faut, par exemple, qu'une diabase soit composée d'un plagioclase (feldspath) et d'augite; si la hornblende y prenait la place de l'augite, elle serait classée parmi les *diorites*. Mais, dans la diabase, comme dans le diorite, on peut rencontrer, comme *élément accessoire*, de la chlorite résultant d'une transformation de l'augite ou de la hornblende, postérieure par conséquent à la constitution primitive de la roche. Enfin, il est des éléments *accidentels*, qu'on ne rencontre que çà et là, en proportions très variables.

Un grand nombre d'auteurs divisent les roches en trois classes; 1° *acides*; 2° *intermédiaires*; 3° *basiques*. Les roches acides contiennent plus de 65 o/o de silice; dans les intermédiairès, la proportion de silice est inférieure à 65 et supérieure à 54 o/o; une teneur en silice inférieure à 54° a fait donner à celles de la troisième classe le nom de basiques. La première division embrasse les *granites*, la plupart des *porphyres quartzifères*, les *rhyolites*, où dominent les feldspaths alcalins et le quartz comme éléments blancs, tandis que le mica y peut avoir une couleur tantôt claire, tantôt foncée; la seconde a pour éléments blancs l'orthose accompagné de mica noir ou d'amphibole dans les *syénites*, des feldspaths alcalins et calcosodiques dans les *syénites*, les *phonolithes*, les *dacites*, les andésites; la troisième a pour éléments blancs des feldspaths calcosodiques, les feldspathoïdes, leucite, néphéline et pour éléments noirs l'amphibole hornblende et le pyroxène augite dans

les *diorites*, *diabases*, *dolérites*, *basaltes*, *gabbros*; on rattache à cette classe les *serpentines*, les *norites*, les *péridotites* (sans silice libre).

Mais parmi les porphyres quartzifères les uns se rattachent à la première, les autres à la seconde classe et la limite est encore plus vague pour les syénites et les diorites, dont les uns appartiennent à la deuxième, les autres à la troisième classe.

Dans les roches métamorphiques les éléments principaux sont quelquefois le quartz accompagné de feldspaths acides, de mica, les chlorites où la proportion de silice ne dépasse pas 30 o/o; les argiles où la silice ne dépasse pas 50 o/o. Les éléments accessoires y sont très nombreux : grenats, idocrase, wernérites, épidote, silimannite, staurotide, andalousite, disthène.

Il serait souvent pénible de déterminer la proportion de silice contenue dans une roche analysée en bloc.

Aussi préfère-t-on classer les roches éruptives d'après leur structure. La structure de ces roches dépend de la lenteur ou de la rapidité relative avec laquelle se sont consolidés leurs éléments. Pour les roches plus ou moins cristallines et feuilletées, la structure provient souvent des lits parallèles, suivant lesquels leurs éléments sont distribués; mais il arrive aussi qu'un feuilletage bien plus net traverse des roches feuilletées, même terreuses, dans une direction commune à toutes celles d'une même région et indépendante du lit primitif sur lequel elle se sont déposées.

CHAPITRE III

§ 1. — ROCHES A REFROIDISSEMENT LENT. STRUCTURE GRANITOIDE.

La masse est entièrement cristallisée; mais les éléments en peuvent être disposés de différentes façons; l'on y distingue :

a. Roches acides.

1° Structure granitique, dans laquelle le quartz n'a pas de formes propres et moule les cristaux de feldspath et des autres minéraux; il y a toujours du mica noir; ordinairement deux micas; le feldspath a des contours plus ou moins bien définis; les éléments de deuxième consolidation ont les mêmes dimensions que ceux de première;

2° Structure granulitique, pêle-mêle et grenue; les éléments tendent à prendre les formes qui leur appartiennent; le quartz, en particulier, celle de cristaux bipyramydés, dans lesquels les faces du prisme e^1 sont très réduites et même le plus souvent manquent totalement.

3° Structure pegmatoïde : les éléments s'orientent; le quartz et l'orthose cristallisent ensemble; le quartz se présente dans l'orthose en granules brillants en lumière polasisée, allongés suivant l'axe du prisme. Dans la variété dite graphique le quartz forme des baguettes plus ou moins parallèles au milieu du feldspath.

b. Roches basiques (pas de silice libre).

4° Structure grenue, dans laquelle un feldspath moule tous les autres éléments dont les dimensions sont également développées dans tous les sens.

5° La Structure ophitique, dans laquelle un pyroxène ou une amphibole sert de ciment aux feldspaths. On voit ces derniers pénétrer les cristaux très petits de pyroxène ou d'amphibole.

Les roches présentant ces structures offrent deux temps de consolidation; mais les cristaux des deux époques ont les mêmes dimensions; ceux de la première ne se distinguent de ceux de la seconde que parce qu'ils sont corrodés ou brisés.

§ 2. — ROCHES A DEUX TEMPS DE CONSOLIDATION DISTINCTS.

1° Époque de consolidation de gros cristaux qui se sont formés souterrainement.

2° Époque de consolidation du magma qui s'est refroidi rapidement. Les cristaux de ce temps, beaucoup plus petits que ceux du premier, en deviennent distincts. On peut rencontrer dans leur masse de la matière vitreuse. On appelle PORPHYROÏDE la structure des roches acides et TRACHYTOÏDE celle des roches basiques où l'on peut faire cette distinction; ici on a toujours besoin du microscope.

A. Structure porphyroïde.

a. HOLOCRISTALLINE (anciens porphyres quartzifères).

1° STRUCTURE MICROGRANITIQUE : le quartz n'a pas de formes propres et moule tous les autres éléments comme dans la structure granitique.

2° STRUCTURE MICROGRANULITIQUE : le quartz est bipyramidé; tous les cristaux sont plus nets et la roche en plaque mince a la forme d'une mosaïque.

3° STRUCTURE MICROPEGMATOÏDE : correspond à la pegmatoïde.

b. SEMI-CRISTALLINE (magma semi-cristallin, mélangé de matière vitreuse).

4° STRUCTURE GLOBULAIRE : sphérolites radiés imprégnés de quartz, à croix noire entre des nicols croisés. Les grains de quartz et de feldspath qui peuvent se trouver dans le magma n'ont pas de contours géométriques nets. Souvent la fluidité est apparente (porphyre à quartz globulaire).

5° STRUCTURE PÉTROSILICEUSE : la matière vitreuse est très abondante et très riche en silice; on constate la présence de fissures perlitiques, de vacuoles et la fluidité est très accusée par des traînées nuageuses. On observe aussi des sphérolithes à croix noire de matière radiée, concrétionnée (porphyre pétrosiliceux).

B. **Structure trachytoïde** (sans silice libre).

a (magma toujours cristallin).

1° STRUCTURE GRENUE, correspondant à la structure grenue granitoïde.

2° STRUCTURE OPHITIQUE, correspondant à la structure ophitique granitoïde.

b (microlithes; parfois matière vitreuse).

3° STRUCTURE MICROLITHIQUE, la plus importante des structures trachytoïdes. On a de gros cristaux, datant du premier temps de consolidation et d'autres allongés, très petits (*microlithes*) indiquant par leur position relative une structure tantôt enchevêtrée, tantôt fluidale. Il s'y mêle parfois de la matière vitreuse.

Comme l'ont montré MM. Fouqué et Michel Lévy, c'est surtout dans la température qu'il faut chercher l'origine de la variation de la structure dans les roches; les diverses parties d'un même magma ne se refroidissant pas également vite, la même roche peut présenter les structures les plus variées. A cause du peu d'abondance de la matière vitreuse, les microlithes restent isolés les uns des autres et la roche prend un caractère âpre au toucher, qui lui a valu son nom de *trachyte*.

§ 3. — ROCHES A STRUCTURE VITREUSE

Ces roches ont la cassure, la consistance et la fragilité du verre. Elles contiennent quelquefois des gros cristaux, mais surtout des trichites (Voy. *Obsidienne*, *Rétinites*, etc.).

OBSERVATIONS SPÉCIALES AUX ROCHES SEMI-CRISTALLINES ET TRACHYTIQUES.

La roche est un mélange irrégulier de parties cristallines phanérogènes ou adélogènes, et de parties amorphes, c'est-à-dire

qu'on ne peut résoudre en éléments distincts aux grossissements les plus forts des microscopes actuels. Au sein de la masse que forment ensemble ces deux parties, on voit dans les *Porphyres* se dessiner les contours polygonaux de parties cristallisées d'un volume quelquefois relativement considérable (fig. 277).

D'après M. Zirkel, la substance amorphe ne doit pas être considérée comme un mélange des éléments de la roche devenus assez petits pour être indiscernables aux meilleurs instruments; c'est une matière spéciale *sui generis*. Tantôt c'est un verre pur, monoréfringent, de couleur claire ou foncée, empâtant çà et là des microlithes qui, eux, sont des éléments proprement dits de la masse. Celle-ci a quelquefois dans la cassure un éclat intermédiaire entre le chatoyant et le résineux, mais ordinairement rien n'y décèle la pâte vitreuse qu'elle renferme.



Fig. 277.

C'est aux différentes natures basiques ou acides de cette pâte vitreuse qu'il faut attribuer la prise en gelée partielle des roches basiques ou l'excès de silice des trachytes quartzifères, qui dépasse la teneur normale de la sanidine contenue dans ces roches, et qu'on ne serait pas davantage en droit d'y expliquer par un mélange de quartz très fin, puisqu'on n'a jamais pu l'apercevoir (1).

Quelquefois la substance amorphe est un verre en partie dévitrifié. Ordinairement, dans ce cas, elle a la forme de petits grains arrondis, ovoïdes, d'un brun jaunâtre, atteignant au plus 0mm,005 de diamètre, entassés les uns sur les autres (globulites formant les

(1) Zirkel, *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1868, 709.

cristallites de Vogelsang), quelquefois aciculaires (longulites), et remplissant généralement les vides laissés par les éléments cristallisés de la roche ; c'est ce qu'on observe surtout dans les basaltes et les laves, les mélaphyres, les trachytes.

Dans certaines variétés l'aspect change : sur un fond gris bleuâtre ou bleu grisâtre se détachent en plus ou moins grand nomb re des trichites, des aiguilles minces, droites ou courbes, formant parfois des cercles, analogues à celles des roches vitreuses, terminées en massues ou en pointes, jaunâtres ou brunâtres, rappelant les dispositions qu'on appelle *tricotées* ou *dendritiques*, ou bien la dévitrification est plus complète. Dans un grand nombre d'anamésites, de basaltes et de porphyres augitiques, ce sont des petites aiguilles mêlées à des grains, toujours sans parenté avec les éléments de la roche mêlés au granules dont il a été question plus haut, constituant des petites masses interposées entre les éléments à structure cristalline et sujettes à des transformations qui donnent lieu d'abord à une texture fibreuse, et enfin à des anneaux concentriques complets ou non qu'on observe, comme la substance primitive entre les bandelettes des feldspaths, de l'augite ou de la hornblende, et qui agissent sur la lumière polarisée. Enfin, dans les porphyres feldspathiques et les liparites, la substance amorphe consiste en grains ou fibres indéterminées, qui, entre deux nicols en croix, jettent une lueur vague, variable d'une direction à une autre comme des veines colorées dans les marbres. Elle occupe de petites régions isolées (liparites et porphyres quartzifères).

Structure sphérolithique. — Elle tient à la forme de ses éléments essentiels (Voir *Perlites*, etc.)

Structure fluidale. — On voit dans beaucoup de laves, dans les roches vitreuses, souvent aussi dans les porphyriques et même dans les roches à structure grenue, surtout dans celles à éléments très fins, certains diorites, les éléments se disposer suivant une direction générale. Dans les laves, les cristaux allongés s'allignent à la file les uns des autres dans le sens de l'écoulement. Dans les roches vitreuses proprement dites, les microlithes s'arrangent

ainsi en lignes parallèles ou divergentes qui contournent des cristaux plus volumineux. On a comparé cette disposition au pêle-mêle des troncs d'arbres emportés par un courant, et la structure a été appelée *fluidale*.

Cette structure ne paraît pas influencer la densité réticulaire de la masse et les courbes isothermes sont subordonnées simplement aux conductibilités propres aux orientations dominantes des cristaux.

§ 4. — STRUCTURE SCHISTEUSE.

Un assez grand nombre de roches, les unes entièrement, les autres plus ou moins partiellement cristallines, ont une structure qu'on appelle *schisteuse*. Le type de ces roches est l'ardoise, qu'on peut diviser en feuillets minces et légers, mais solides et tenaces, et qu'on emploie à couvrir les toits. Cette agrégation des parties dans une direction plane particulière n'a pas échappé aux plus anciens observateurs, et, dans les nomenclatures déjà très vieilles, on trouve le mot de *schiste* désignant des masses douées de cette structure.

Dans l'essai « sur la structure des grandes masses minérales (1) », Sedgwick a le premier distingué les uns des autres les plans de séparation qui sillonnent les roches dans des directions souvent si régulières. Il a reconnu que les fentes visibles qu'on appelle *joints* et qui divisent des masses considérables, telles que les granites du mont Perdu, en blocs à forme de prismes rhomboïdaux, n'existent que là où on les voit, et qu'on ne peut les confondre avec cette fissilité des schistes qui conserve généralement, par exemple, dans la partie nord du pays de Galles, une direction constante sur de grandes étendues, à travers des bancs de composition minéralogique très différente et sans cesse ployés ou même contournés quelquefois de la façon la plus bizarre.

(1) *Transactions of the geological Society of London. — Seconde série, vol. III* (1829).

La figure 278 est la copie d'un des nombreux exemples que Sedwick a publiés dans son mémoire cité plus haut.



Fig. 278. — Coupe dans les grès et schistes cristallins du nord du pays de Galles, par Sedgwick.

Les lignes épaisses y représentent les bancs, et les lignes minces la direction toujours la même de la fissilité. Près du milieu de la coupe, on remarque un plan de flexion des bancs. Sur l'axe anticlinal, où se rencontrent les parties élevées des bancs du milieu de la coupe, se trouve un grès quartzeux, dur, flanqué à droite et à gauche de schistes cristallins. La fissilité ou clivage de la roche garde partout la même direction, en plongeant presque au nord-ouest.

Comme la fissilité ou clivage, les joints gardent leur direction en passant du granite aux schistes. En 1843, John Phillips a vérifié la justesse des observations de Sedgwick ; il a, en outre, signalé



Fig. 279. — Ammonite comprimée dans le calcaire d'Allevard (Isère).

la déformation des coquilles minces et des trilobites que renferment les schistes ; la déformation semble y résulter, disait-il, d'un mouvement d'étirage des particules de la roche le long du plan de fissilité ou de clivage. La figure 279 montre une ammonite ainsi

déprimée. Elle nous a été communiquée par notre savant confrère, M. Pellat, qui l'a recueillie dans les calcaires schisteux liasiques des rives du Bréda, à Allevard (Isère).

Le plan suivant lequel a eu lieu la compression de ce fossile est parallèle à celui du clivage général de ces schistes.

Poursuivant ces observations commencées avec tant de bonheur, Sharpe est arrivé à conclure que « les formes tordues actuelles des coquilles, au milieu de plusieurs roches schiteuses, en Angleterre », peuvent s'expliquer par la supposition que ces roches avaient subi une compression perpendiculaire à la direction plane du clivage, et une expansion correspondante suivant le sens de plongement de ce plan.

En 1853, serrant de plus près cette question, Sorby a remarqué, comme Sharpe, l'allongement opéré suivant la ligne de plongement du clivage, dont la direction générale est perpendiculaire à celle de la pression; il vit de plus que, dans certains schistes où le mica se montre en nombreuses lamelles cristallines, ces lamelles sont presque toujours disposées suivant le plan de clivage; il fit alors une expérience devenue célèbre : il comprima un mélange d'oligiste et de terre à pipe molle, et la structure schisteuse s'y manifesta en même temps que la lamelle d'oligiste s'y étendaient le long des feuillets.

Plus tard, John Tyndall communiqua la structure de l'ardoise à des matières qu'il soumettait à la fois à l'action de la pression et à celle d'une sorte de laminage.

A plusieurs reprises, on a signalé en France, dans des roches d'origine évidemment sédimentaire, les différences d'inclinaisons et de directions des couches ou plan du dépôt et de la fissilité qui s'y était produite sous l'influence d'actions extérieures. En 1842, dans leur *Statistique minéralogique et géologique du département des Ardennes,* Sauvage et Buvignier en ont cité des cas nombreux. Ils y ont ajouté cette remarque importante que les couches et les feuillets sont les seules inclinaisons apparentes, mais qu'il y a dans beaucoup de bancs exploités pour la fabrication des ardoises, à Fu-

may par exemple, une seconde direction plane, de séparation facile, qui ne se voit pas, mais que les ouvriers connaissent, qu'ils mettent à profit et qu'ils appellent le *longrain*.

En 1845, la *Description géologique du département de Maine-et-Loire*, par Cacarrié, nous apprend que les schistes d'Angers sont aussi divisés ou divisibles dans plusieurs directions.

C'est d'abord un feuilletage incliné en sens contraire de la veine et dévié par rapport à elle de 10° à la Paperie, de 20° aux Fresnays.

Puis une seconde division oblique au feuilletage donne à la roche une disposition fibreuse. Les ouvriers appellent *érusses* les cassures qu'elle produit. Enfin les bancs sont parcourus encore par des fissures diverses, les unes perpendiculaires aux plans des feuillets, *chefs*, les autres obliques et irrégulières appelées *chauves* ou *délits*.

Daubrée a repris d'un bout à l'autre ce problème. D'une première série d'expériences, il a conclu que, pour acquérir la schistosité, l'argile doit s'étendre par un commencement de laminage. Il a vu que les bélemnites, corps allongés, résistants, se couchent dans le plan de la schistosité, qu'ils y subissent un étirement, et que la roche toute entière participe à cet étirement, comme le montrent ses fissures injectées souvent de substances étrangères.



Fig. 280. — Bélemnite tronçonnée dans le calcaire de Bourg-d'Oisans.

La figure 280 montre une bélemnite séparée en tronçons par l'étirement ; les fentes sont remplies de calcaire spathique.

Dans une autre série d'expériences, Daubrée a étendu le champ ouvert par les essais de Tyndall.

En soumettant à des pressions horizontales des matières plastiques sur lesquelles agissaient en même temps des pressions verticales supérieures aux premières, il a vu se produire dans la matière imprimée des inflexions.

La coupe de ces inflexions est une ligne sinusoïdale, ou, en termes géologiques, une série de lignes *synclinales* et *anticlinales*, lorsque les pressions verticales sont homogènes. Elle rappelle le renversement de certaines couches des Alpes ou d'autres régions tourmentées par les mouvements du globe, lorsque la pression verticale n'est pas constante en tous les points de la masse sur laquelle elle agit, ou que celle-ci n'a pas partout la même section.

Puis, frappé comme Sedgwick, comme Phillips et plus récemment M. William King, de la constance avec laquelle se maintient la direction des joints sur de grandes étendues, Daubrée a rattaché ces joints aux failles, dont elles ne se distinguent guère que par l'absence des rejets. En général, dans une faille, les deux portions d'une couche qu'elle sépare ne restent pas au même niveau horizontal, tandis que les deux parois d'un même joint ne s'écartent pas verticalement, d'ordinaire, l'un par rapport à l'autre. Phillips avait déjà observé que les joints ont dans le Yorkshire deux directions dominantes rectangulaires entre elles. Daubrée, de son côté, avait vu que dans les Vosges, et surtout dans les escarpements qui forment le sommet du Schneeberg, ces joints coupent en deux les cailloux de quartz ou de porphyre. Il soumit différentes matières dures, et particulièrement des lames de glace à une forte torsion. Il les encastrait solidement par un bout et les tordait à l'autre au moyen d'un tourne-à-gauche. Ces lames de verre montrent, après leur torsion, une sorte de réseau de fêlures en lignes à peu près droites ou en éventails aigus sensiblement parallèles entre eux et à deux directions conjuguées, imitant les systèmes de joints qui sillonnent les roches dans la nature.

Enfin, Daubrée a observé des relations entre la direction des

grandes cassures du globe qui ont produit non seulement les failles, mais encore les vallées, dans une région et la direction des joints, surtout avec la bissectrice de l'angle que forment les directions conjuguées de ces fentes qu'il appelle *Diaclases*, tandis qu'il donne le nom de *Paraclases* aux failles ou fissures accompagnées du rejet, c'est à-dire du déplacement relatif des deux portions des mêmes couches séparées l'une de l'autre par la cassure.

Relations des propriétés thermiques des roches schisteuses et leur structure. — Nous avons pensé que si la schistosité des roches était assimilable à un clivage, elle aurait la même influence que les clivages sur la conductibilité thermique.

L'expérience nous a montré qu'en effet la schistosité proprement dite, celle dont les ardoises offrent le véritable type, se comporte absolument comme les clivages des minéraux vis-à-vis de la chaleur. Si l'on recouvre de graisse une section faite dans une ardoise perpendiculairement à son plan de clivage, et qu'on échauffe un point de cette section, la courbe que dessine le bourrelet formé par la graisse fondue après son refroidissement est une ellipse, dont le grand axe est toujours parallèle et le petit perpendiculaire, par conséquent, à la direction de la schistosité. En mesurant la longueur de ces axes, on voit que le grand axe est au petit dans les rapports de 1,8 ou quelquefois de 2 à 1 dans les ardoises de Fumay et de Rimogne (Ardennes). Nous avons examiné un nombre considérable de ces roches qu'on appelle ardoises et qui sont d'âges bien différents. Les précédentes étaient siluriennes ; dans les ardoises nummulitiques de Villars-Gondran et de Saint-Julien-en-Maurienne, le rapport est de 1,6 ; dans celles de Vénosc (Isère), qui sont probablement du terrain houiller, il est d'environ 2 ; dans celles du Bourg-d'Oisans, qui sont liasiques, il s'abaisse à 1,4 ; mais celles-ci sont calcarifères.

Nous avons observé, M. Œhlert et moi, un bel exemple de schistosité indépendant de la stratification, rue du Préau-Sainte-Catherine, à Laval (Mayenne). Quand on regarde la rue d'Ernée, on observe à sa gauche des schistes carbonifères redressés presque

32

verticalement. Un peu au delà en B se dressent les bancs inférieurs qui forment une sorte de voûte divisée en feuillets verticaux. Le grande axe de la courbe isothermique est toujours parallèle à la schistosité (fig. 281).

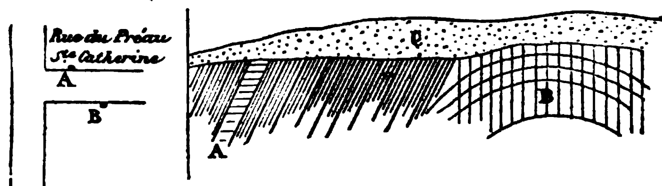


Fig. 281. — Schistes carbonifères à Laval (Mayenne).

Influence de la composition minéralogique. — Nous avons comparé les degrés de schistosité que des roches de composition différente ont pu acquérir sous l'action de la même pression. Ces observations ont été faites aux environs de Bourg d'Oisans (Isère), dans un massif de calcaires liasiques, dont les couches, évidemment horizontales au moment de leur dépôt, ont été non seulement contournées, comme le montre la figure 280, mais en outre divisées en feuillets quelquefois assez minces pour être exploités comme ardoises, et verticaux, c'est-à-dire à peu près perpendiculaires à la projection des bancs sur le plan de l'horizon. Cette fissilité verticale affecte d'ailleurs la plupart des calcaires liasiques dans l'Oisans et dans la Maurienne, ce qui montre la puissance et l'étendue de l'action des pressions latérales qui l'ont imprimée aux bancs ondulés de la région.

Le massif, que représente la figure 282, domine la Lignarre, qui coule à peu de distance en avant de sa base, et la route de Grenoble à Bourg-d'Oisans, qui le longe sur son flanc droit. L'escarpement qui la fournit s'élève devant l'observateur à quelques centaines de mètres du village de la Paute. On voit qu'il est formé de bancs tous contournés à la fois et tous striés ensemble par les traces de plans de clivage verticaux presque perpendiculaires à la section pratiquée dans le massif par son escarpement. La section

va de l'est (à gauche) à l'ouest (à droite). Les plans de clivage se dirigent du nord un peu est vers le sud un peu ouest. Ces bancs sont tous des calcaires plus ou moins argilifères.

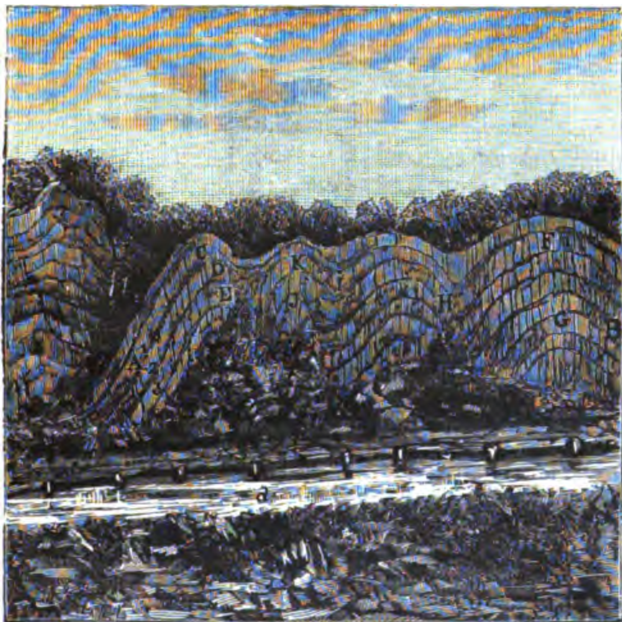


Fig. 282. — Vue du massif calcaire des environs de la Paute (Isère).

Dans des bancs de calcaire argileux ou mieux de marne assez schisteuse pour qu'on y ait ouvert une carrière d'ardoise, nous avons trouvé quelques lits parallèles, riches en petites bélemnites très bien conservées, toutes inclinées à environ 15° de la ligne de plus grande pente du plan de schistosité.

La figure 283 montre une de ces bélemnites courbée légèrement et déplacée sous l'influence de la pression.

Les bancs qui composent ce grand massif sont des calcaires plus ou moins argilifères. En F et en D, ces calcaires, qui paraissent appartenir aux mêmes bancs plusieurs fois repliés, contiennent en-

viron 35 o/o d'argile. Sur un plan perpendiculaire à la schistosité, les axes de l'ellipse isotherme sont dans le rapport de 1,3 à 1. Les bancs H, A, qui ne contiennent que de 6 à 10 o/o d'argile, donnent des grands axes de 1,06 à 1,08, le petit étant pris pour unité.



Fig. 283. — Bélemnite détachée dans le calcaire de l'Oisans.

Les ardoises dont nous avons parlé plus haut renferment de 45 à 50 o/o d'argile; ce sont elles qui nous ont donné 1,4 pour rapport des axes de l'ellipse isotherme.

En résumé :

Proportions en centièmes : d'argile.	de calcaire.	Degré de schistosité mesuré par le rapport des axes de l'ellipse isotherme :
10	90	1,06
35	65	1,3
50	50	1,4

Connexions du longrain et de l'ellipsoïde isotherme. — Sur les feuillets mêmes des roches schisteuses, comme l'ont dit Sauvage et Buvignier, on observe une direction de division plus facile.

Cette direction est utilisée par les ouvriers dans les ardoises de tous les âges et de toutes les régions sur lesquelles nous avons pu avoir des renseignements précis.

Nous avons visité un assez grand nombre de carrières d'ardoises, et nous y avons constamment rencontré deux directions planes de

séparation facile, tout à fait comparables aux clivages des minéraux qui font entre elles des angles de 60° à 90°, et qu'on peut désigner, comme dans les espèces minérales, par les dénominations de *premier* et de *second clivage*, suivant leur ordre de netteté et de facilité. Le premier est la *schistosité* ou *clivage* des géologues; le second est le *longrain*, le long, ou le fil des ouvriers qui exploitent l'ardoise.

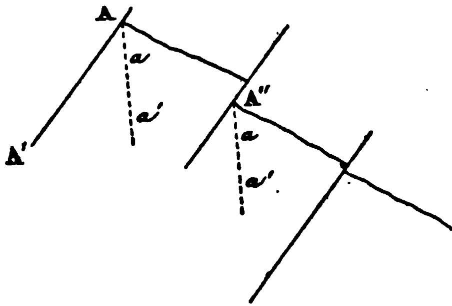


Fig. 284.

La figure 284 est une coupe schématique d'une partie des ardoisières du Petit-Carreau, à Angers. Or, ce longrain se conserve comme la schistosité avec une direction constante jusqu'à de grandes distances.

Souvent, il est vrai, rien n'en révèle extérieurement l'existence; des traînées de cristaux épars de pyrite dans les ardoises siluriennes de l'Ardenne et d'Angers, une structure plus ou moins fibreuse dans celles du lias de la Savoie et de l'Oisans, sont des indices souvent pénibles à suivre de cette seconde direction de fissilité. On est aidé quelquefois dans cette recherche par l'œil exercé des ouvriers; mais il y a bien des roches schisteuses qui ne sont pas exploitées, qui ne mériteraient pas de l'être, et les exploitations elles-mêmes n'intéressent en général que de petites étendues.

Le géologue peut en trouver la direction grâce à la conductibilité calorifique. En effet, la chaleur se propage avec une facilité plus grande suivant la trace du longrain que suivant les autres directions sur le plan de la schistosité. La figure 285 représente un petit parallélipipède ayant sa base supérieure ABCD parallèle à la schistosité ou clivage facile, ses deux pans CDEF, BDF perpendiculaires à la base, et l'un de ces derniers (CDEF) perpendiculaire,

l'autre (BDF) parallèle au longrain. Sur la face CDF on voit une ellipse isotherme dont le grand axe est parallèle à la trace du clivage facile.

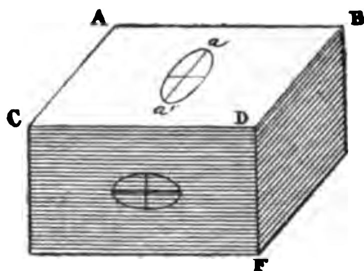


Fig. 285.

On a pu lire plus haut un nombre suffisant de rapports d'axes de ces courbes sur le plan perpendiculaire à la schistosité ou, si l'on veut, sur la tranche de la roche, en comparant ses feuillets à ceux d'un livre. Mais le plan de la schistosité lui-même donne une ellipse pour courbe isotherme, et le grand axe de cette courbe est parallèle au longrain. L'excentricité de l'ellipse n'est pas considérable. Le grand axe parallèle au longrain vaut 1,06; 1,1; quelquefois 1,2, en prenant pour unité le petit axe perpendiculaire à la même direction.

Sur la base de ces prismes rhomboïdaux qui divisent pour ainsi dire, comme l'a dit M. William King, les roches en cristaux, nous avons toujours obtenu de même une ellipse, et cette courbe a le plus souvent son grand axe parallèle à la bissectrice aiguë du parallélogramme qui sert de base au prisme et qui est généralement le plan du clivage le plus facile (fig. 286). On remarquera la coïncidence qu'il y a entre la propriété thermique de cette bissectrice aiguë et sa direction souvent parallèle, d'après Daubrée, à celle des vallées.

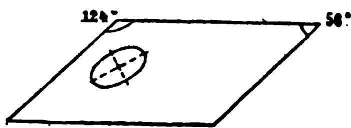


Fig. 286.

Remarque. — Nous ne saurions assurément regarder la forme en prismes comme réellement cristalline, celle ci résultant pour les cristaux de la propriété que possèdent leurs particules élémentaires de s'orienter d'elles-mêmes les unes par rapport aux autres, tandis que dans les roches les formes géométriques sont produites par des faces extérieures.

TABLEAUX DES EXCENTRICITÉS DES ELLIPSES OBTENUES DANS DES ROCHES D'AGES TRÈS DIFFÉRENTS.

Noms des Roches.	Rapport des axes.
Gneiss de la vallée d'Aoste.	1,06
— entre les Tines et Argentières, un peu kaolinisé. .	1,122
— à grains très fins, passant au schiste chloriteux du Mont-Rose	1,13
— dans des parties plissées du même morceau. . .	1,2
— de la route de Chamonix à Montanvert.	1,2
— blanc, du passage du Splugen, Alpes des Grisons, côté italien	1,212
— riche en mica recueilli en plusieurs points de l'endroit appelé l'Angle, sur le flanc de la mer de Glace.	1,23 et 1,45
— du Mont-Airolo, partie supérieure du Saint-Gothard.	1,5
— passant au micaschiste, entre Calaska et Pio de Mulera.	1,63
Micaschiste à grains fins d'Aurillac.	1,82
Stéaschiste, d'un vert clair des États-Unis	2,01
Talchiste de la Guyane française.	1,78
— des environs de Canala, N[lle]-Calédonie, en filaments, ténus, incolores, très fortement adhérents.	3,
Schiste amphibolique de Königsberg	1,1
Schiste quartzeux, micacé, de Saint-Gervais, près Bonneville	1,5

N. B. — Toutes ces observations ont été faites sur des plaques normales au plan de schistosité.

TABLEAUX DES EXCENTRICITÉS DES ELLIPSES OBTENUES DANS DES ROCHES D'AGES TRÈS DIFFÉRENTS (*suite*).

Noms des roches.	Rapports des axes sur une section : Perpendiculaire à la schistosité et parallèle au longrain.	Parallèle à la schistosité et au longrain.
Phyllade de Thomson, Minnesota, précambrien, exploité comme ardoise	1,52	1,08
Phyllade vert brillant, de Génos (Hautes-Pyrénées).	1,9	1,1
Phyllade de Fumay (Ardennes).	1,8 à 2,2	1,03 à 1,06
— de Deville (Ardennes).	1,99	1,06
— de Rimogne (Ardennes).	1,8	1,2
— de Labassère (Hautes-Pyrénées) .	1,3	1,03
— de Vitré (Ille-et-Vilaine). . . .	1,4	1,37
— d'Augers (Maine-et-Loire). . . .	1,6	1,03 à 1,06
— de Recolène (Puy-de-Dôme) . . .	1,345	
— de Vénosc (Isère)	2,2	1,1
Schistes rhomboïdaux, du Culm, d'Ancenis (Loire-Inférieure).		1,06
Schistes de la rue du Préau-Sainte-Catherine, Laval (Mayenne)	1,4	1,04
Schistes de la route d'Oisseau (Mayenne) .		1,09
— du col de Voza (Alpes).	1,412	1,08
Schiste houiller de Motivon, près le col de Voza.	1,8	1
Schiste rouge, vallée de Salvan, près Vernayaz	1,412	
Schiste micacé de Saint-Michel, Maurienne, houiller	1,45	
Schiste du pont de la Saussaz, houiller, en Maurienne.	1,675	
Calcaire argileux micacé à Belemnites, Lias, en descendant du Mont-Lachat, vers les Houches	1,31	
Calcaire argileux des ardoisières de Saint-Colomban-des-Villars, Maurienne . . .	1,426	1,03
Calcaires schisteux du Lias de Bourg-d'Oisans (Isère)	1,06 à 1,08	1,03 à 1,06
Même localité, calcaire exploité comme ardoise.	1,4	1,1
Calcaire des environs d'Allevard (Isère).	1,14	1,06
Schiste rhomboïdal, de l'allée Maintenon. Bagnères-de-Bigorre, jurassique supér[r] ?	1,416	1,4
Grès néocomien des environs de Genève.	1,03	
Schiste calcaire nummulitique, de Saint-Julien-en-Maurienne, exploité comme ardoise.	1,6	1,03
Calcaire, dit magnésien de Saint-Ouen (Seine), éocène.	1,4	

Expériences. — Les expériences de Sorby, de Tyndal et de Daubrée ne laissaient pas de doute sur l'origine de la schistosité oblique par rapport à la stratification ni sur celle du longrain dans les roches ; mais, comme les courbes isothermes donnent des évaluations numériques du degré de schistosité communiqué à une matière plastique par la pression, nous avons pensé qu'il serait intéressant de comparer la pression mesurée en atmosphères au rapport des axes des ellipses isothermes produites sur les matières comprimées.

Grâce à l'obligeance de MM. Baudry et Lebasteur et au concours de MM. Neel et Clermont, nous avons pu exécuter dans les ateliers de la Compagnie des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, de nombreuses recherches au moyen de la machine construite pour l'essai des chaînes qui permet d'exercer des efforts de 100.000 kilos et de mesurer ces efforts à 1/100 000 près.

Dans un tube d'acier à parois suffisamment solides et ayant une section d'environ 1 centimètre cube, on a enfoncé un piston sous une pression de plus de 8.000 atmosphères.

Noms des matières pulvérulentes introduites dans le tube.	Pression en atmosphères.	Rapport des axes des ellipses isothermes.
Cuivre en poudre impalpable (employé en peinture)	8000	3,5
Cuivre en limaille	8000	3,5
Laiton en limaille	8000	1,9
Zinc porphyrisé	8000	1,4
Antimoine	8000	1,2
Bismuth	8000	1,06
Graphite en poudre	8000	5
Graphite en poudre	4000	2,7
Graphite en poudre	2000	1,034
Poudre de talc	4000	3

De ce tableau il résulte que la schistosité augmente avec la pression et que les matières les plus maléables, les plus plastiques, sont celles où la schistosité se développe le mieux.

Ce dernier résultat ressort plus nettement encore de quelques

expériences faites sur des mélanges d'argile et de calcaire amenés à l'état de poussières fines.

Mélange de		Pression en atmosphères	Rapport des axes
Argile	Calcaire		
5	0	8000	1,25
		4000	1,1
		2000	1,034
4	1	8000	1,17
3	2	8000	1, à 1,4
2	3	8000	1,06
1	10		1,08
0	5 (marbre pur)	8000	1

Le calcaire en poudre et pur s'est montré complètement réfractaire; la pression ne fait que le réduire en poudre encore plus fine qu'elle ne l'était avant l'expérience et qui devient une masse friable sans solidité. Il en est de même du sable siliceux. Ces dernières expériences montrent aussi que la même matière, l'argile, prise en poudre sèche est beaucoup moins capable de schistosité que l'argile en bloc, au moment où on la sort de la carrière.

Reproduction du longrain en même temps que de la schistosité. — On a pris une boîte en forme de parallélipipède, de $0^m,3$ de hauteur, $0^m,2$ de largeur, ouverte sur deux faces, l'une antérieure, qu'on fermait au moyen d'une plaque de dimensions convenables, sorte de paroi mobile, reliée par une tige à la machine qui la poussait vers la paroi postérieure fixe. Par la face supérieure de la boîte qui restait ouverte pouvait s'écoulait la matière comprimée. On a introduit dans cette boîte des blocs d'argile, cubiques de $0^m,1$ de côté, imprégnés de leur eau de carrière.

Les ellipses isothermes obtenues sur les blocs ainsi comprimés ont montré que ces masses sont schisteuses parallèlement à la surface du piston et qu'elles ont acquis sur le plan de la schistosité un longrain parallèle à l'écoulement.

Les grands axes des courbes produites sur le plan de la schis-

tosité et sur une section perpendiculaire permettent de reconnaître la direction de la pression et celle de l'écoulement.

Le plan de schistosité est normal à la direction de la pression et le longrain parallèle à la direction de l'écoulement.

La figure 287 montre un bloc d'argile dans sa boîte avant l'expérience.

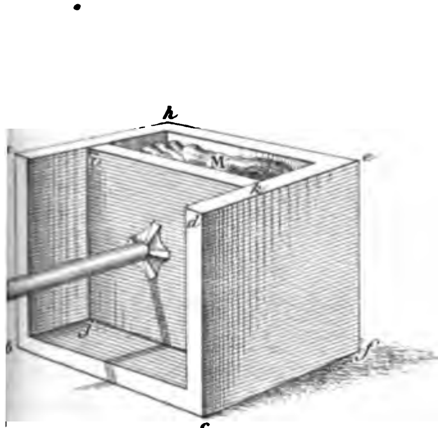


Fig. 287.

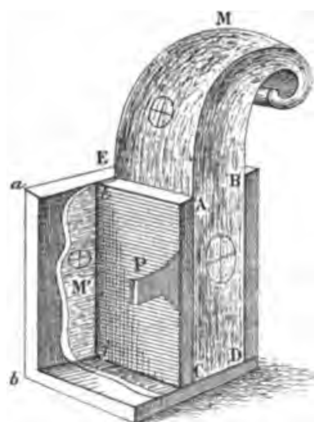


Fig. 288.

La figure 288 représente la position des courbes isothermes sur le plat et sur la tranche du bloc d'argile comprimé et extravasé.

Dans les expériences faites sur l'argile plastique d'Issy, celle-ci a débordé, tantôt en s'enroulant en spirales, tantôt en formant des sortes de rubans plissés en zigzags qui peuvent faire comprendre comment une roche molle, ainsi pincée entre d'autres plus résistantes, a pu venir se jeter sur celles-ci en couches plissées ou contournées, en s'échappant de l'enceinte où elle était soumise à la même pression qu'elles.

On voit sur la figure que les ellipses isothermes obtenues sur le plan parallèle à la paroi mobile qui agit comme un piston P et correspondant au plan de schistosité ont une excentricité faible, mais nette, que sur les ellipses obtenues sur la tranche, sur la face perpendiculaire au piston, l'excentricité est plus forte.

Sur un feuillet mince situé à droite extravasé entre la paroi mobile antérieure et la paroi latérale en M', le grand axe de l'ellipse est horizontal, au lieu d'être vertical, comme dans les ellipses précédentes.

Donc, le grand axe des ellipses est toujours parallèle à l'écoulement de la matière.

Pour un effort de 12.000 kilogrammes exercé sur la paroi mobile de la boîte, qui avait une surface de 6 décimètres carrés, et par conséquent pour une pression de 20 atmosphères, la schistosité a été assez grande pour que l'excentricité des ellipses isothermes produites sur la tranche ABCD ait été de 1,06 dans les parties inférieures, 1,1 vers le milieu de la boîte; sur la face de schistosité même MAE, l'excentricité a varié de 1,06 à 1,08. Sur la face de la portion extravasée dans la direction horizontale en M', l'excentricité était de 1,03. La bande d'argile plastique après sa compression avait une longueur d'environ 20 centimètres et une épaisseur de $2^{cm},4$.

Pour une pression de 30 atmosphères, l'excentricité sur la tranche était de 1,13.

Dans quelques expériences on a introduit dans le bloc d'argile des pointes de Paris, des bouts de fil de fer et, après la compression, les corps étrangers, dont une dimension était supérieure aux autres, se disposaient dans la masse suivant la direction de l'écoulement, comme l'avaient signalé déjà plusieurs observateurs dans eurs anciennes expériences.

En opérant de la même façon sur un dépôt obtenu par M. Fayol, à Commentry, au moyen d'un courant d'eau continu, qui a déversé pendant dix ans, dans les parties basses d'une galerie en fond de bateau, d'où l'eau s'échappait par des crevasses, des matières argilo-ferrugineuses, mêlées de matières charbonneuses, on a produit des courbes isothermes qui étaient des ellipses caractérisées par un rapport d'axes 1,2 sur la tranche du bloc soumis à une pression de 40 atmosphères; on s'était assuré qu'avant l'expérience les courbes isothermes produites sur 3 sections rectangulaires

entre elles, parallèles ou normales au plan du dépôt étaient circulaires. Souvent le bloc d'argile présente après la compression sur la face de la schistosité parallèle au piston compresseur des stries semblables à celles qu'on observe à la surface de certaines roches schisteuses, par exemple, à Saint-Colomban-des-Villards, en Maurienne. Je n'ai pu discerner dans les sections les plus minces aucune trace de cristallisation en lumière polarisée dans l'argile plastique comprimée, qui acquiert pourtant après sa compression un degré de schistosité comparable à celui de beaucoup de roches naturelles pour des pressions équivalentes à celles de colonne d'eau qui n'auraient pas plus de 2 à 4 kilomètres de hauteur.

§ 5. — STRUCTURE CLASTIQUE.

En dehors des structures qui viennent d'être décrites, il faut considérer celle des matières restées incohérentes au moment de leur formation, ou devenues incohérentes à la suite de la démolition des roches qui les comptaient parmi leurs éléments.

Au nombre des premières on doit d'abord citer les projections des volcans qui retombent comme une pluie de cendres et de pierrailles autour des cratères, en enveloppant leurs parois extérieures de cônes élevés les uns sur les autres par les éruptions successives. Ce sont tantôt des poussières fines, tantôt des lapilli, des scories tordues, criblées de trous par les vapeurs qui s'en dégagent pendant leur consolidation. Quelquefois des eaux ambiantes ou sorties avec elles à l'état gazeux et condensées à l'état liquide agglutinent toutes ces matières et en font des *tufs*.

Parmi les matériaux provenant de la désagrégation des roches, entraînés, puis déposés par les eaux qui les charrient, tantôt près, tantôt loin de leur origine, souvent décomposés ou modifiés pendant le transport et devenus fréquemment méconnaissables, doivent être mentionnés les sables, les galets, ou des débris beaucoup plus volumineux. Lorsqu'ils ont été déposés près de leurs gisements primitifs, ces détritus sont restés souvent anguleux. Très souvent

ils ont reçu, pendant ou après leur dépôt, des apports quelquefois siliceux, quelquefois calcaires, qui ont transformé les sables en *grès*, les galets en *poudingues*, les morceaux anguleux en *brèches*. Tous ces matériaux de démolition sont appelés *clastiques*, du mot grec *clastos*, brisé; les roches solidifiées par des ciments qu'ils peuvent constituer, sont dites *conglomérées*.

Structure cataclastique (Brèches de froissement). Il arrive aussi que des fragments d'une roche éruptive brisée par des mouvements intestins ou par des mouvements généraux de l'écorce du globe, mêlés d'autres débris arrachés aux roches encaissantes, subissent des pressions de toutes sortes et les actions chimiques des émanations gazeuses ou liquides qui accompagnent l'éruption. Ils sont souvent cimentés sur place par la masse éruptive non encore consolidée. Ils forment les brèches de froissement, dont un certain nombre de géologues appellent cataclastique la structure.

CHAPITRE IV

ORDRE SUIVI DANS CE LIVRE

Nous décrirons d'abord les roches silicatées cristallines massives, en y rattachant leur cortège de brèches et de tufs, dont on sait reconnaître l'origine, puis les roches silicatées cristallines schisteuses. Nous nous occuperons ensuite des roches conglomérées, sables, grès, etc. Puis, nous ferons l'étude des calcaires, gypses, auxquels les roches plus anciennes n'ont fourni qu'une partie de leurs éléments chimiques. Nous terminerons par la description des argiles.

DEUXIÈME PARTIE

DESCRIPTION DES ROCHES

CHAPITRE PREMIER

ROCHES MASSIVES

§ 1. — ROCHES OU LES FELDSPATHS OU FELDSPATHOIDES JOUENT UN ROLE PRÉDOMINANT.

ROCHES FELDSPATHIQUES ; SILICE LIBRE ; MICA NOIR.

1° Type grenu à orthose dominant avec quartz.

Granite (*Granit*, all.). — Agrégat ou assemblage de cristaux de *feldspath*, de *quartz* et de *mica*. L'espèce principale de feldspath est l'*orthose* blanc ou d'un blanc grisâtre, jaunâtre, rougeâtre, rose, d'un rouge de chair ou d'un rouge foncé, rarement vert ; il se distingue par sa cassure plane et brillante, à éclat perlé, par ses contours souvent peu réguliers, mais où l'on reconnaît pourtant des rectangles ou des parallélogrammes allongés. Le quartz y est toujours en grains informes, anguleux, blancs, d'un gris de fumée, très rarement bleuâtres ou rouges, à cassure inégale, à éclat vitreux et gras. Au microscope, il apparaît criblé de petites cavités, qui renfermeraient, d'après Sorby, de l'eau contenant en dissolution des chlorures ou des sulfates alcalins. Le mica y forme des lamelles souvent hexagonales, brillantes, blanches ou noires, plus rarement d'un jaune d'or, ou vertes, faciles à détacher au moyen

d'un canif, en paillettes élastiques. Les micas magnésiens s'y trouvent rarement.

Souvent l'orthose est accompagné d'oligoclase d'un blanc gris, d'un blanc verdâtre, moins translucide, plus riche en soude, à éclat plus ou moins gras; les deux sortes de feldspaths peuvent s'envelopper mutuellement; parfois ils cristallisent ensemble en s'accolant suivant le plan du clivage moins facile (g^1). En Finlande, on appelle *rappakivi* les granites où l'oligoclase et l'orthose se groupent ainsi en zones plus ou moins concentriques.

L'orthose renferme rarement des inclusions; en général, il n'est guère mieux cristallisé que le quartz; ses contours, lorsqu'il en présente de réguliers, sont ceux de la variété adulaire. Il est rarement frais; très souvent, en effet, le centre en est trouble et semble le point de départ de l'altération appelée kaolinisation. Les cristaux renferment du mica, du kaolin, quelquefois de l'épidote, rarement des microlithes.

A côté, ou même quelquefois presque à l'exlusion de l'orthose, on voit dans les granites le feldspath que Des Cloizeaux a séparé des autres sous le nom de *microcline*, à cause de ses propriétés optiques. Le microcline constitue la masse des beaux cristaux verts qu'on classait parmi les variétés d'orthose sous le nom d'amazonite (granites de Tschebarkul, lac Ilmen), celle aussi des cristaux rouges qui forment, avec de l'oligoclase d'un gris verdâtre, du quartz un peu grisâtre et du mica noir, le granite rouge d'Égypte, ordinairement confondu parmi les syénites. Il présente, dans l'orthose du granite de Baveno, de larges bandes transparentes, hémitropes, qui se croisent sous des angles de 115 à 116°. Il y est associé à l'albite. On le retrouve dans le granite de Chanteloube (Puy-de-Dôme), dans un granite porphyroïde des environs de Royat (Puy-de-Dôme), et dans un grand nombre de granites français ou étrangers.

Delesse a obtenu les proportions suivantes pour les éléments essentiels du granite rouge d'Égypte : orthose rouge, 43; oligoclase blanche, 9; quartz, 44; mica noir, 4.

PLANCHE B

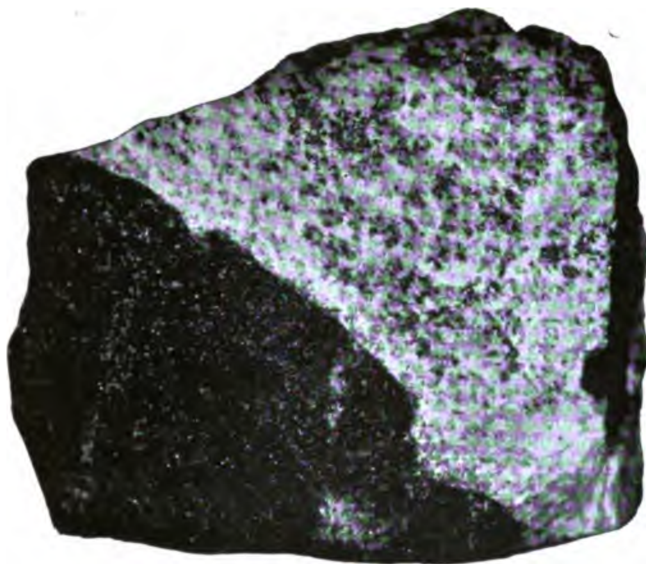


Fig. 1. — Contact du granite et d'un gneiss à grain fin.
(Grandeur naturelle).



Fig. 2. — Veine de granite traversant un gneiss.
(Grandeur naturelle).

Vis-à-vis la page 513.

Durocher, *Recherches sur la cristallisation des roches granitiques* (*Bull. Soc. géol.*, 2e série, t. IV, p. 1040), a également exprimé la quantité relative de ces éléments pour plusieurs granites : granite de Bécanne près Combourg (Ille-et-Vilaine) ; feldspath, 45 o/o ; quartz, 35 ; mica, 20 (ces rapports lui paraissent à peu près normaux) ; granite de Hédé, même département : feldspath, 20 ; quartz, 20 ; mica, 60. La densité des granites est d'environ 2,6 à 2,7 ; l'oxygène de la silice étant pris pour unité, celui des bases pèse en moyenne 0,26.

Éléments accessoires : *Chlorite* (*granite chloriteux*) ; *hornblende* (*sycnitgranit* des Allemands) ; *fer oligiste*, en paillettes (*eisengranit*) ; *cordiérite* (*cordieritgranit*) ; *pinite*, en prismes à faces latérales assez nombreuses, d'un gris jaunâtre ou verdâtre ; *albite*, d'un blanc de lait, montrant ordinairement la gouttière caractéristique ; *épidote* (*épidotgranit*), en petits cristaux aciculaires jaunes ou verdâtres ; *graphite* (*graphitgranit*), en lamelles molles, tendres, qui remplacent une plus ou moins grande partie de mica ; *tourmaline* remplaçant le mica dans la *bérésite* de M. Pisani. Les minéraux accidentels dans ce granite sont en général peu abondants, mais d'espèces très nombreuses. On peut citer la wernérite, l'émeraude, la topaze, la tourmaline, le zircon, les grenats, puis l'andalousite, l'orthite, l'allanite, la gadolinite, l'épidote, la fluorine, l'or natif, la pyrite, la cassitérite, l'uranite, la chalkolite, etc.

Variétés : *Granite homogène*, dans la masse duquel les espèces minérales qui le constituent gardent des dimensions constantes ; *granite porphyroïde*, auquel certains cristaux de feldspath orthose, plus développés que les autres, et souvent d'une autre nuance ou d'un éclat différent, donnent l'aspect d'un porphyre. Suivant la grosseur des éléments dans la masse, on distingue aussi des *granites à grandes parties* où les cristaux atteignent quelquefois la grosseur du poing, et des *granites à grains fins*, dont les éléments dépassent à peine la grosseur d'un grain de millet.

Un certain nombre de roches, qui ont réellement la composition

du granite, doivent un faciès compacte et quelquefois presque porphyrique à la petitesse de leurs grains, telle qu'on ne peut plus les déterminer qu'à l'aide des plus forts grossissements du microscope. C'est un passage aux micrograniles.

Classification des granites. — M. Rosenbusch avait remarqué que dans les associations de cristaux dont se composent les roches éruptives, certains éléments tranchent par la netteté de leurs contours, en même temps que par leur altération ou par leurs dislocations, sur les autres qui se moulent sur eux, les englobent et semblent remplir leurs vides. Il est évident que les premiers se sont formés avant les seconds.

Granites et granulites. — M. Michel Lévy, dont les travaux ont jeté une si vive lumière sur la classification des roches granitiques, a divisé la série des temps où chacun des éléments s'est consolidé en deux époques. La première époque est celle des grands cristaux, le plus souvent brisés et corrodés; la seconde celle où le magma qui restait de la roche a cristallisé autour du mélange fragmentaire précédent. Pour les roches granitiques, l'ordre de consolidation dans la première époque a été le suivant (en commençant par l'élément le plus anciennement formé) : *mica noir, oligoclase, orthose.*

Dans certaines de ces roches, ces éléments se sont constitués seuls pendant la première période; dans la seconde, se sont consolidés les feldspaths alcalins et du quartz. Ces roches sont les *granites,* proprement dits, où l'on observe accessoirement : hornblende, sphène, rutile, fer oxydulé.

Dans les autres appelées *granulites,* pendant la première période de consolidation, au mica noir, à l'orthose, à l'oligoclase s'est ajouté immédiatement du *quartz bipyramidé* (quartz ancien) avec accessoirement : hornblende, zircon, topaze, sphène, amphibole, grenat, apatite, fer oxydulé; dans la seconde se sont constitués les feldspaths alcalins, du quartz granuleux (quartz récent), du mica blanc et accessoirement de l'oligoclase.

Les granites ont pour éléments des cristaux en débris (mica

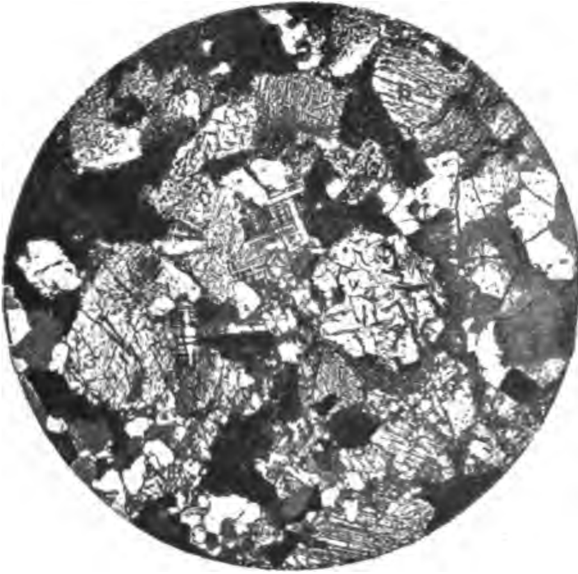


Fig. 290. — GRANULITE DE GRAPE-CREEK (COLORADO).
(*Page 514*)

I. — Mica noir (19), oligoclase (6), fer oxydulé, apatite.
II. — Orthose (3), microcline (4), quartz (1).

(*Photographie d'après MM. FOUQUÉ et MICHEL LÉVY, Atlas, Pl. VII, fig. 2.*)

noir, amphibole, oligoclase, orthose), enveloppés par le magma qui est cristallisé lui-même et composé d'orthose et de quartz récents. L'orthose récent s'y distingue de l'ancien par l'étendue de ses plages irrégulièrement terminées, par son mode d'altération qui consiste en longues traînées, rectilignes, parallèles, de matière trouble; il est antérieur au quartz, mais il joue le rôle de pâte par rapport aux autres débris. Ceux-ci, serrés les uns contre les autres, forment entre des nicols croisés des mosaïques brillamment colorées.

Les granulites sont donc formées de débris à peu près égaux de quartz et de feldspaths anciens, cimentés en général par un quartz récent qui tend à cristalliser en doubles pyramides $p, e^{1/2}$ combinées au prisme e^2 court, souvent non développé. Souvent il y a plus d'oligoclase que d'orthose, et les deux feldspaths sont vitreux. L'amphibole et la tourmaline ne sont pas rares; le mica blanc est presque le seul existant (fig. 289 et 290).

Les inclusions du quartz sont dihexaédriques et renferment des bulles mobiles ou des bulles fixes entourées d'anneaux noirs très épais (1).

On appelle *microgranites* et *microgranulites* les granites et granulites dont les éléments, tout en conservant leur disposition relative irrégulière et des dimensions à peu près égales, deviennent si ténus qu'on ne peut plus les discerner qu'au microscope.

Dans leur grand ouvrage sur la minéralogie micrographique, MM. Fouqué et Michel Lévy ont adopté ces désignations générales. Ils appellent *roches granitoïdes* les roches éruptives dont les éléments, cristallisés en majeure partie pendant le second temps de consolidation, ne comprennent ni microlithes de cette époque, ni parties amorphes. Dans ce groupe, les roches granitiques se distinguent par leur teneur en silice libre et en orthose. Celles enfin des roches granitiques qui ont le mica noir pour élé-

(1) Michel Lévy, *Mémoire sur la structure microscopique des roches anciennes* (Bull. Soc. géol. de France, 3e série, t. III, p. 199).

ment ferro-magnésien dominant sont les granites proprement dits.

La *pegmatite* n'est qu'une variété de granite dont les éléments ont cristallisé simultanément et montrent un allongement régulier (fig. 291)

Le quartz y est orienté; voyez le chapitre *Structure pegmatoïde*, p.

Les granites contiennent quelquefois de l'amphibole, ou du pyroxène, en quantité assez considérable pour mériter le nom de granites à amphyboles, à pyroxène.

Granites gneissiques. — Au milieu des granites à éléments mélangés sans aucun arrangement régulier où le mica en particulier présente toutes les orientations possibles, on observe quelquefois çà et là des sortes de plaques encastrées dans la masse où elles se terminent souvent en coins, en prenant alors une structure rubanée, analogue à celle des gneiss, à zones de feldspath et de quartz alternes et parallèles à la direction générale de la roche éruptive. Il est très probable que la structure de ces bandes à schistosité grossière provient des pressions qu'a exercées localement sur ces fragments isolés du reste de la masse par des cassures, la masse elle-même de la roche.

Gisements et physionomie générale.

Les granites constituent le système le plus considérable de roches massives qui traversent les schistes cristallins et souvent les schistes de transition; enclavés par leurs bases dans ces terrains, ils les dominent par leurs extrémités supérieures, qui s'élèvent en vastes gibbosités. Ils ont aussi la forme de dykes ou de filons, que l'on retrouve dans les mélaphyres; ils présentent surtout ce trait caractéristique d'émettre des ramifications très complexes, qui vont s'anastomoser pour ainsi dire entre elles dans la masse des roches encaissantes. Ils sont de plus en plus rares dans les terrains primaires supérieurs, et n'ont que peu d'importance dans les secondaires.

Les vrais granites sont liés au gneiss par de nombreuses variétés



Fig. 290. — GRANULITE (PROTOGINE DE LA BÉRARDE, ISÈRE).
(Page 516)

Grossissement = 21 *diamètres. Lumière polarisée, nicols croisés.*

L'échantillon a été recueilli parmi les blocs erratiques du hameau des Etages, près la Bérarde. Il probient de la zone de contact entre la granulite (protogyne éruptive) et les gneiss appelés à juste titre granitoïdes par M. Lory.

Le dessin représente les minéraux suivants :

I. — Mica noir (19) en partie transformé en mica blanc, hornblende (21) probablement arrachée à des micaschistes amphiboliques, orthose (3), oligoclase (6).

II. — Partie des feldspaths précédents, microcline (4), quartz (1), mica blanc (2).

(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY*, Minéralogie micrographique. — *Atlas, Pl. II. fig. 1.*)

intermédiaires (*gneiss granitiques*). Ils traversent les terrains anciens et sont remplacés dans le dévonien par des granites porphyroïdes, souvent à deux micas. A l'île d'Elbe, en Algérie, ont apparu de véritables roches granitiques pendant la période tertiaire. Dans celui de l'île d'Elbe, qui se relie d'ailleurs à des porphyres, l'orthose est fendillé, souvent transparent, comme dans les trachytes.

Protogine. — C'est un granite dans lequel le mica appartient à la variété *séricite*.

Dans la protogine du Mont-Blanc, le feldspath est blanc ou d'un blanc grisâtre, mat et lamellaire, souvent en gros cristaux à contours assez réguliers ; le quartz en grains d'un gris de fumée ou violacé ; la séricite en lamelles plus ou moins froissées, d'un vert émeraude, céladon, tendres et onctueuses au toucher, surtout lorsqu'elles sont réduites en poudre ; un autre mica, très ferrugineux, y forme des lamelles vertes. La schistosité y augmente avec la proportion de mica. Daubrée attribue cette schistosité à la pression qu'exerçait sur la protogine éruptive la roche encaissant au moment de son soulèvement.

D'après Delesse, la silice peut entrer pour 75 o/o dans la roche.

Pegmatite (*Pegmatit*). — Assemblage de *feldspaths* lamellaires, blancs, jaunes, verts, rouges, etc., offrant les clivages rectangulaires caractéristiques de l'*orthose* et du *microcline*, souvent nettement cristallisés, et de *quartz* également cristallisé, tantôt en prismes allongés, à six pans inégaux, comme cannelés dans la cassure transversale et terminés par des pyramides à six faces plus ou moins régulièrement développés. Dans les pegmatites à gros éléments ou à grandes parties, le quartz, en cristallisant, semble avoir été forcé de remplir la place que lui laissait le feldspath. Les cristaux des individus essentiels de la pegmatite sont quel quefois d'un volume énorme.

Dans d'autres variétés, ils se réduisent à la taille ordinaire aux éléments du granite. Ils peuvent même ne pas dépasser les dimensions microscopiques des microgranites. C'est ce qu'on observe dans les micropegmatites (fig. 292).

Dans la variété de pegmatite appelée *graphique*, les cristaux de feldspath sont traversés par ceux du quartz. Ceux-ci sont bacillaires, parallèles et dessinent dans la masse feldspathique où ils sont encastrés des figures assez régulières, qui ressemblent aux caractères de l'écriture cunéiforme.



Fig. 292. — Micropegmatite.

Cette roche renferme jusqu'à 78 o/o de silice. Elle ne contient ordinairement que peu de mica; les variétés graphiques en manquent même tout à fait.

Haüy et plus tard Cordier ont défini la pegmatite comme essentiellement composée de feldspath et de quartz. Le feldspath est en général celui que Des Cloizeaux a séparé des autres, à cause de ses caractères optiques, sous le nom de *microcline*. Il offre d'ordinaire une masse quadrillée traversée souvent par des filons ou des bandelettes d'albite hémitrope : Loucrup (Hautes-Pyrénées); La Bellière près Vire (Calvados); Saint-Malo; Sibérie; Leppfield; Connecticut; Cayenne (Guyane française). Aujourd'hui les lithologistes tendent plutôt à réserver le nom de pegmatites à une structure, celle des roches où le feldspath et le quartz ont pris un certain arrangement régulier en cristallisant simultanément. La pegmatite n'est plus, dans ce cas, qu'une variété de granite.

Les éléments accidentels sont :

Tourmaline, *topaze*, *albite*, *béryl*, *grenat*, *apatite*, *gadolinite*, *orthose*, *colombite*, et beaucoup d'autres.

La pegmatite forme des filons dans le gneiss, le granite, le leptynite. Le feldspath y est souvent altéré. C'est alors le plus précieux gisement de kaolin (Saint-Yrieix, près Limoges). Le feldspath intact est employé pour la couverte de la porcelaine.



Fig. 291. PEGMATITE D'OAK-CREEK, COLORADO.

(*Page 518*)

Microcline (4), quartz (1). Le Microcline taillé parallèlement à *p*, traversé par des filonnets d'albite (5).

Microgranulites, micropegmatites. — Granulites et pegmatites à magma cristallin, dont les éléments sont si petits, qu'il n'a pu être compris qu'à de très forts grossissements et que cette pâte d'apparence homogène les a fait longtemps assimiler aux porphyres.

Granulites, microgranulites récentes. — Celles dont l'éruption est postérieure au crétacé.

Microgranulites récentes à amphibole, à mica noir, à pyroxène, à diallage, celles dans lesquelles les feldspaths alcalins et le quartz sont associés, soit à l'amphibole, soit au mica, ou au pyroxène, ou enfin à la diallage.

Brèches et conglomérats granitiques. — Gros blocs anguleux ou arrondis de granite, auxquels se mêlent quelquefois des fragments de schistes argileux, ou d'autres roches, englobés par un ciment granulitique, pulvérulent.

2° Type porphyroïde.

Le mot de Porphyre implique une couleur rouge de feu. *Rubet porphyrites in Ægypto,* disait Pline. La matière citée par Pline



Fig. 293. — Plaque de porphyre.

est celle que nous appelons aujourd'hui *porphyre rouge antique,* et que les Égyptiens ont fréquement employée pour leurs cuves sé-

pulcrales, leurs statues ou leurs obélisques. Les Romains ont beaucoup utilisé les matières travaillées avant eux en Égypte. Les modernes ont recueilli à leur tour les œuvres des uns et des autres, mais souvent ils ont dénaturé les acceptions des noms anciens. Ajourd'hui le nom de porphyre est appliqué à des roches qui peuvent bien, en général, servir de marbres durs, mais qui sont d'une couleur quelconque et qui ont pour caractère d'offrir, sur un fond ou *pâte* à éléments indiscernables, des cristaux à formes plus ou moins régulières, séparés du chaos général où restent confondus les autres éléments de la roche (fig. 293).

Cette pâte forme quelquefois la roche à elle seule. Lorsqu'elle est de nature feldspathique, on l'appelle *pétrosilex*, parce qu'elle ressemble au silex, dont elle se distingue par sa fusibilité au chalumeau. Dubuisson l'appelait *eurite*, bien qu'elle eût déjà reçu, de Kirwan, le nom de *felsite*.

Cette pâte d'un blanc grisâtre, jaunâtre, verdâtre, rougeâtre, noirâtre, brune, a une couleur parfois d'un bleu lavande; elle a une cassure ordinairement esquilleuse et se rapproche de celle de certaines agates ou du silex corné; mais l'eurite est toujours fusible, tantôt avec autant ou plus de facilité que l'orthose elle-même (eurite proprement dite), tantôt plus difficilement (eurite sursilicée de Cordier). L'émail que donne la fusion est tantôt d'un blanc pur et tantôt pointillé de noir ou de vert. L'eurite chargée de silice prend quelquefois l'aspect un peu vitreux, devient plus dure que le feldspath et passe aux rétinites, ou bien elle reste lithoïde. Elle est difficilement rayée par le silex.

Elle devient généralement plus ou mois porphyrique; certaines variétés renferment un peu de mica très ténu. Dans les variétés auxquelles on a donné le nom de porphyres, on observe des cristaux de feldspath et même de quartz. Le rapport de l'oxygène des bases à celui de la silice oscille entre 0,16 et 0,259. Les cristaux de quartz sont bipyramidés : ceux d'*orthose* sont blancs, jaunes, d'un rouge de chair. Ils ont la forme de rectangles plus ou moins allongés, quelquefois leurs sections se terminent par des biseaux

obliques à côtés inégaux (voy. feldspaths); ils ont l'éclat nacré sur les faces de clivage; ils sont de couleur plus claire que la pâte; ils deviennent si nombreux que l'on n'y distingue plus facilement la pâte. Celle-ci est souvent colorée en verdâtre par de la *chlorite*, qui s'y trouve intimement mélangée; elle renferme souvent aussi de la *hornblende*, qui a peut-être donné naissance à la matière verte en s'altérant.

Résumé des études microscopiques récentes. — Nous ne pouvons que présenter dans leur ensemble tous ces travaux de Vogelsang, de MM. Rosenbusch et Zirkel, et plus récemment, en France, de MM. Fouqué et Michel Lévy, qui ont jeté déjà une grande lumière sur la composition élémentaire et la structure des porphyres. On reporte aujourd'hui, aux roches granitoïdes, sous la dénomination de microgranitoïdes, comme il a été dit plus haut, toutes celles dont la masse est résoluble en éléments, qui malgré leur petitesse peuvent être tous distingués à la loupe.

Au microscope, le quartz est plus pauvre en inclusions que celui des granites. Ces inclusions consistent en fluides, en matières vitreuses, en microlithes. Souvent la matière vitreuse est dévitrifiée. Le feldspath a les allures de l'adulaire, mais il est en partie kaolinisé; il est souvent groupé, suivant la loi de Carlsbad; ses fentes, ses faces de clivage sont remplies ou couvertes d'infiltrations secondaires : mica, kaolin, épidote. Le mica magnésien a le même aspect que dans les granites. On rencontre assez fréquemment des cristaux de sphène et de pyrites, quelquefois de la fluorine et des grenats.

La pâte des porphyres a été le sujet d'un grand nombre d'observations et de discussions. Delesse les regardait comme l'eau-mère où les éléments cristallins se sont consolidés, se trouvant en quelque sorte dans un état *semi-cristallin*, intermédiaire entre l'état cristallin et l'état vitreux; Naumann les considérait comme un mélange homogène de matière feldspathique et de silice. Plus tard, M. Zirkel a distingué les pâtes qui se résolvent au microscope en leurs éléments cristallins, et celles qui conservent aux

plus forts grossissements le faciès d'un corps amorphe et homogène. Il a donné aux premières le nom de *magma*, aux secondes celui de *base* (*basis*). La base peut être compacte, vitreuse, et, dans ce cas, dévitrifiée ou non; elle n'est jamais cristalline. M. Zirkel a réservé le nom de *base microfelsitique* aux bases vitreuses dévitrifiées.

Vogelsang a distingué trois sortes de pâte.

L'une consiste en un mélange d'éléments cristallins, mais si petits qu'on n'arrive à les distinguer que peu à peu, au fur et à mesure que les instruments de grossissement se perfectionnent.

Une seconde variété de pâte très abondamment répandue se compose d'une substance qui se rassemble en bandes, en stries, en membranes, qui reste toujours obscure pour toutes ses positions entre des nicols en croix, bien qu'elle soit à peu près incolore, qui n'a aucune structure et qui n'est autre chose qu'un *verre*. Ce verre agit quelquefois par places sur la lumière polarisée, mais parce qu'il est plus ou moins dévitrifié.

Enfin, une troisième variété de pâte, peut-être encore plus fréquente que la première, ne se présente qu'en membranes des plus minces; incolore ou colorée en gris, en jaunâtre, etc. *Elle n'est pas sans structure* : on y aperçoit des filaments, des granules; mais elle est, comme la précédente, inactive vis-à-vis de la lumière polarisée. C'est ce que Vogelsang appelle *base microfelsitique*; il l'a regardée comme une matière qui n'est pas parvenue, pour ainsi dire, au dernier stade de sa cristallisation.

En résumé, le plus grand nombre de porphyres a pour fond une matière pétrosiliceuse, tantôt insensible à la lumière polarisée, tantôt active. MM. Fouqué et Michel Lévy reconnaissent à cette matière, finement nuageuse, les propriétés optiques d'une calcédoine à grains fins, chargée d'opale et comprenant en outre les éléments chimiques d'un feldspath. Elle s'est constituée pendant la seconde période de consolidation de la roche qui, pendant la première, ne différait pas sensiblement d'une roche granitoïde considérée, elle aussi, dans la même phase de son évolution. Mais

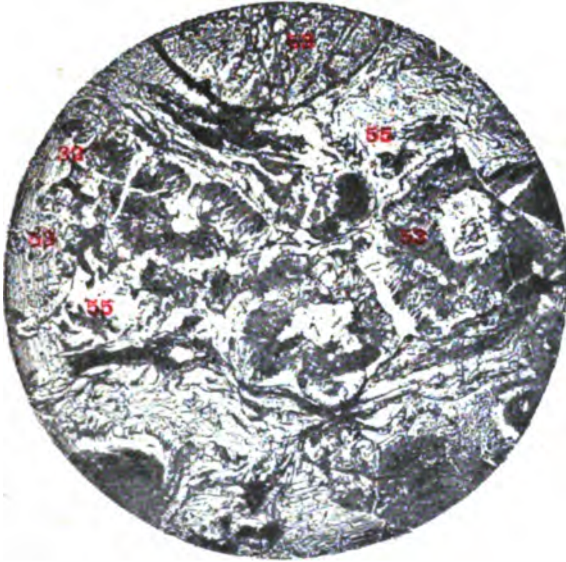


Fig. 294. — PORPHYRE PÉTROSILICEUX DE GRATADIS (VAR)

(*Page 522*)

Un des porphyres permiens les plus récents de l'Esterel.

Sphérolithes à croix noire (53), magma fluidal (55), veinules de calcédoine (32).

(*Atlas de MM. FOUQUÉ et MICHEL LÉVY, Pl. XV, fig. 1.*)

Le gisement de cette roche a été étudié par M. POTIER. (*Bullet. Soc. géol. de France.* Réunion extraordinaire, 1877.)

pendant la seconde, s'est établi le type de structure qui est spécial aux porphyres, adjonction du magma amorphe et développement normal de la *structure dite fluidale.*

Structure fluidale. — Lorsqu'une pâte est vitreuse ou cryptocristalline, on voit ordinairement ses particules constituantes disposées suivant des modes réguliers. Dans un grand nombre de variétés, les éléments se sont alignés parallèlement à des directions linéaires ou suivant certaines surfaces planes ou courbes, comme si elles avaient coulé dans ces directions. C'est ce qu'on nomme la *structure fluidale.*

Porphyres à structure globulaire. — D'autres variétés de porphyres présentent, en nombre quelquefois infini, des corpuscules que Vogelsang appelait *globulites* ou *margarites* et *Longulites*, d'après leur configuration plus ou moins sphéroïdale ou plus ou moins allongée. Ces corpuscules peuvent se grouper les uns avec les autres sous les formes les plus complexes. Ces groupes, d'après Vogelsang, seraient les uns sans action sur la lumière polarisée (*crystallites*), les autres actifs (*crystalloïdes*).

M. Zirkel, auquel on doit des travaux remarquables sur les porphyres et les basaltes, distingue le *grain globulitique* (grains, disques uniréfringents), le *pêle-mêle trichitique* (margarites et longulites de Vogelsang) et la *dévitrification felsitique.* Il nomme *microlithes*, comme beaucoup d'auteurs à son exemple, les cristaux d'une extrême ténuité.

Dans certains porphyres, la matière qui en fait le fond, ou la base ou la pâte, est vitreuse; Vogelsang les appelle *vitrophyres*, et M. Rosenbusch *pechsteinporphyres.*

Dans la masse vitreuse se sont consolidés des cristaux analogues à ceux du granite. Mais c'est surtout dans les porphyres renfermant de l'augite et de la hornblende qu'on rencontre ces variétés vitreuses.

Enfin, il y a des eurites qui deviennent vitreuses comme les porphyres et qui font partie des pechstein.

En France, on adopte maintenant la classification de MM. Fou-

qué et Michel Lévy, présentée dans le tableau synoptique des roches cristallines, Tableau I.

Les roches de type porphyroïde se distinguent de celles du granitoïde par les dimensions différentes ou les différents faciès des éléments de la roche. Dans le type porphyroïde, les éléments qui se sont consolidés souterrainement, avant l'apparition à la surface du globe de la masse éruptive, ont cristallisé lentement avec des formes assez régulières et des dimensions *microscopiques*, visibles à l'œil nu ; mais la plus grosse portion du magma, encore liquide ou pâteuse, lorsqu'elle est arrivée au jour, s'est consolidée brusquement, de plusieurs manières ; au microscope, le magma se montre formé tantôt uniquement de cristaux très petits sinon à contours très réguliers, au moins à structure cristalline bien apparente (magma nolocristallin), tantôt de cristaux empâtés dans une masse vitreuse.

Dans le cas où il est holocristallin, le magma peut offrir les mêmes arrangements que le granite, quartz informe, moulant les autres éléments (*microgranites*) ou quartz bipyramidé à formes nettes (*microgranulites*) ou quartz orienté (*micropegmatites*); les microgranulites et les micropegmatites correspondent aux anciens porphyres quartzifères.

Dans le cas où le magma est semi-cristallin (fig. 294 et 295), le quartz y présente des sphérolithes donnant la croix noire entre des nicols croisés qui indiquent ici une structure régulière due au retrait produit pendant le refroidissement ; c'est le cas des *porphyres globulaires*, à structure fluidale dans l'ensemble ; enfin MM. Fouqué et Michel Lévy appellent *porphyres pétrosiliceux*, les porphyres où la matière vitreuse mêlée aux cristaux reste inactive sur la lumière polarisée et montre souvent par sa structure fluidale la direction de la coulée.

Physionomie des masses porphyriques. — Les porphyres se dressent en montagnes d'aspect sauvage, à parois raides, à cimes déchirées, souvent hérissées de pyramides aiguës.

Variétés de structure et de texture. *Porphyres quartzifères pro-*



Fig. 295. — PORPHYRE PÉTROSILICEUX DE GARGALONG (VAR).

(Page 524)

Même gisement que le porphyre de Gratadis *(fig. 294.)*

(53) Sphérolites à croix noire.
(57) Magma perlitique en partie amorphe.

(Pl. XI, fig. 2. Atlas de MM. FOUQUÉ et MICHEL LÉVY.)

prement dits. Masses divisées en prismes hexagonaux, en parallélipipèdes droits ou obliques. *Porphyres schisteux.* Le quartz s'y rassemble en veines, en lames parallèles, planes quelquefois, très rapprochées (*papierporphyr*) ou ondulées (*eurite ligniforme* de Rupt, Vosges). Parfois l'apparence schisteuse provient des nuances différentes dont la roche se colore suivant des bandes parallèles, *porphyre poreux ou celluleux*, avec cavités amygdalaires. *Porphyres oolithiques, sphérolitiques*, en boules de la grosseur d'une noix ou de la tête, dont l'intérieur est rempli d'agate et d'autres matières cristallisées. A cette variété se rattache le *porphyre pyroméride* (P. orbiculaire, P. Napoléon), de Corse, qui consiste en une pâte euritique enveloppant des globules à texture radiée et concentrique, où l'on discerne plus ou moins nettement l'orthose et le quartz, avec globules d'agate interposés. Le quartz est assez riche en inclusions vitreuses.

Les dykes de porphyre abondent dans le carbonifère. Leurs épanchements, nombreux encore dans le permien, sont devenus de plus en plus rares dans les terrains supérieurs. Les porphyres les plus anciens, jusqu'au terrain permien, sont en général des microgranulites et des micropegmatites. Ils sont pauvres en pâte amorphe et contiennent de la chlorite, parfois du talc, souvent de l'amphibole.

Derrière eux ont fait éruption les porphyres chloritiques, à amphibole transformée en serpentine, où l'on observe des cristaux de quartz bipyramidé et des sphérolithes à croix noire entre des nicols croisés ; ces sphérolites apparaissent au microscope comme formés de quartz et de feldspath.

Les porphyres permiens, composés d'orthose et de quartz, et accessoirement de cordiérite, transformée généralement en pinite, montrent au microscope une pâte amorphe, à structure sensiblement fluidale et contenant des globules gommeux.

Dans les porphyres triasiques, on voit au microscope des gros globules vitreux, un magma en partie vitreux, en partie cristallin et des sphérolithes à croix noire entre des nicols croisés. Quelque-

fois, au contact de la roche encaissante, le porphyre prend une structure schisteuse.

Porphyres bréchiformes (*Porphyrbreccie*, all., *brèches porphyriques*). — Dans certains cas, la masse du porphyre s'étant brisée pendant son soulèvement, les fragments ordinairement anguleux ont été ressoudés par une pâte euritique, plus ou moins abondante, d'un rouge brun ou bleuâtre, verdâtre, etc. Les roches de cette nature recouvrent les porphyres proprement dits et alternent quelquefois avec eux. Au contact des porphyres et des roches encaissantes, elles proviennent du frottement des uns contre les autres, et sont formées par le mélange des débris anguleux de la roche éruptive et de ses salbandes.

Mimophyres. — Schistes argileux où ont pénétré des éléments de porphyres, feldspath, etc., dont les cristaux donnent à la roche un faciès porphyroïde.

Tuf porphyrique. — Roche terreuse, de couleurs très variées, quelquefois bigarrées, à grains très fins, constituée par l'envasement de matériaux porphyriques, en partie décomposés, qui ont dû être amenés au jour avec les porphyres eux-mêmes. On y observe souvent des cristaux de feldspath, de mica, des grains de quartz ; dans leur voisinage, on observe des cendres, des lapillis porphyriques, quelquefois non remaniés par les eaux.

Les microgranites et porphyres quartzifères donnent lieu à des sortes d'auréoles de *brèches* et de *conglomérats*.

Quelquefois les masses porphyriques, comme il a été dit plus haut, présentent sur leurs bords des bandes bréchoïdes, formées de morceaux de porphyre brisés, ressoudés par du porphyre encore pâteux. On les appelle en général *brèches de froissement*.

Argilophyres. — Ce sont des tufs argileux, bruns, verts, qui établissent le passage entre les porphyres et les schistes argileux.

TYPE TRACHYTIQUE A ORTHOSE DOMINANT

Trachyte. — Haüy définissait cette roche comme composée essentiellement de feldspath blanchâtre ou gris cendré, ayant un aspect raboteux, porphyrique, montrant souvent des cristaux de feldspath vitreux, et contenant accessoirement du mica.

On les divise en général aujourd'hui en trachytes quartzifères ou *rhyolites*, et en trachytes sans silice libre, ou *trachytes* proprement dits.

Ils sont composés essentiellement de grains souvent fins, quelquefois inaccessibles au microscope, qui laissent des vides entre eux. Anguleux, lorsqu'ils tiennent à la distance à laquelle les éléments de la roche sont restés les uns des autres au moment de leur consolidation ; arrondis, lorsqu'ils proviennent d'un dégagement postérieur de gaz enfermés dans la masse, tous ces vides donnent à un grand nombre de trachytes une texture poreuse, une cassure inégale, un aspect raboteux, un toucher âpre. Tous les trachytes n'ont pourtant pas ce faciès et ne sont pas âpres au toucher.

Dans d'autres variétés, c'est la structure fluidale qui domine, et la masse est en même temps plus vitreuse. En général, les trachytes ne sont pas entièrement grenus. Leurs couleurs sont presque toujours claires, grises, rougeâtres, ou tirant sur le vert, rarement bleues. Ils se composent d'éléments cristallisés, empâtés dans une masse tantôt microcristalline et tantôt vitreuse, à laquelle se mêle souvent une matière amorphe, analogue à celle des porphyres.

Les études microscopiques établissent de grandes analogies entre la constitution des porphyres et celle des trachytes. C'est surtout la différence de leurs âges d'éruption qui les distingue en géologie ; les premiers (porphyres) étant des roches anciennes. prétertiaires, et les seconds (trachytes) des roches récentes.

Comme les porphyres, les trachytes ont pour caractère de pré-

senter des cristaux à forme ordinaire, que leurs dimensions permettent souvent de distinguer à l'œil nu, empâtés dans un magma dont la structure est souvent aussi fluidale ; mais ici, dans ce magma, on aperçoit des microlithes en quantité quelquefois considérable, formés d'après les observations de MM. Fouqué et Michel Lévy pendant la seconde époque de consolidation.

Rhyolithes. V. Roth (Syn. Liparites). — Les feldspaths tricliniques ne s'y rencontrent que fort accidentellement ; ils se distinguent des trachytes par la prédominance du feldspath le plus acide, et par leur teneur en silice qui prend souvent la forme de quartz cristallisé. Ce sont les équivalents des granites dans les âges géologiques récents (tertiaires ou postertiaires). On y retrouve des types granitiques ou porphyriques.

Le quartz y est en grains ou en dihexaèdres renfermant quelquefois des inclusions, des masses vitreuses incolores avec bulles foncées.

La tridymite y forme des agrégats hexagonaux de lamelles simples ou imbriquées. La sanidine a le même aspect que dans les trachytes proprement dits. On y observe souvent des aiguilles d'amphibole microlithiques et quelquefois des grenats, du sphène, des micas magnésiens et dans les vacuoles de la masse, une matière argiloïde ou de la calcédoine, enfin quelquefois des sphérolithes minéraux accidentels comme dans les trachytes. Souvent les trachytes prennent l'aspect de porphyres qu'on a appelés *Sanidophyres* ou *porphyres trachytiques*, et qui ne sont qu'une variété de faciès des trachytes. Les tufs qui accompagnent les rhyolites de Hongrie contiennent de nombreuses variétés d'opale, quelquefois de l'opale noble, célèbre pour ses belles irisations.

Sanidophyres ou **porphyres trachytiques** (*Sanido-trachyt*). — Lorsque les cristaux de sanidine renfermés dans la pâte du trachyte deviennent très nombreux, la roche devient un véritable porphyre ; certaines variétés à texture compacte, à cassure quelquefois esquilleuse, ont un aspect à peu près identique à celui des porphyres quartzifères, bien qu'elles soient, il est vrai, un peu

plus poreuses que ces derniers : dans une collection, il serait bien difficile quelquefois de les en distinguer; mais, sur le terrain, on les trouve toujours associées aux trachytes à caractères nettement accusés.

Les porphyres trachytiques contiennent ordinairement, distinct à l'œil nu ou intimement mélangé, du quartz en grains ou en cristaux limpides, où la pyramide est accompagnée des faces du prisme. Les minéraux accessoires sont le mica et le grenat, peu abondants. L'oligoclase y est assez rare. La teneur en silice est quelquefois de 78 o/o; la densité varie de 2,44 à 2,63. Souvent les masses compactes ont l'aspect de la cire et passent au *rétinite*. Dans un certain nombre de variétés, au contraire, les pores deviennent très grands, et prennent la forme d'ampoules, de cellules à bords rugueux et âpres (**trachytmolaires** de Beudant). Ces trachytes contiennent souvent de la silice en assez grande quantité pour être rattachés aux rhyolithes et ont tout à fait le faciès des meulières silicieuses, dont ils diffèrent néanmoins en ce qu'ils sont fusibles au chalumeau.

Les porphyres trachytiques sont quelquefois *schistoïdes*, à cause de la répartition de leurs cristaux tabulaires de sanidine sur des plans parallèles, ou *zonaires*, à cause de la distribution des couleurs diverses que présentent quelques variétés. Ces roches ont même parfois la physionomie de granites.

Trachytes. — Dans les trachytes proprement dits, qui doivent être classés parmi les roches feldspathiques sans silice libre, les éléments essentiels sont des feldspaths auxquels s'ajoutent tantôt l'amphibole, tantôt un mica magnésien, ou l'augite. Le feldspath dominant est en général la sanidine, variété d'orthose riche en soude, en cristaux simples ou groupés et aplatis suivant la face g', incolores, limpides, mais toujours fissurés. Le contour régulier de ces cristaux n'est souvent qu'une enveloppe renfermant des grains cristallins diversement orientés. A ce feldspath monoclinique s'en associent d'autres biobliques. La hornblende, l'augite se rencontrent en grains, quelquefois en grands cristaux fêlés ou même

brisés ; le mica, quand il s'en trouve, a la forme de lamelles hexagonales. Il n'est pas rare d'observer dans ces roches de la tridymite en lames simples ou imbriquées à la manière des tuiles d'un toit, du sphène caractérisé par son fort dichroïsme, quand il est un peu coloré, de l'apatite, de la magnétite, quelquefois de la néphéline, accidentellement de la sodalithe.

Tels sont les caractères des trachytes proprement dits. Quelquefois la proportion de l'oligoclase atteint celle de la sanidine (trachytes du Drachenfels, **sanidin oligoclas-trachyt,** de Roth, gris, bruns, dans la masse desquels les deux espèces de feldspaths apparaissent peu distincts l'un de l'autre au premier abord, sous la forme de cristaux ou de grains, et dont la teneur en silice s'élève à 66 o/o environ).

Trachytes à amphibole, Trachytes à mica noir, Trachytes à pyroxène. — Ce sont des trachytes, où les éléments colorés ferromagnésiens sont en assez grande abondance, pour être regardés comme un de leurs éléments essentiels.

La **Domite** est un trachyte du Puy-de-Dôme, friable, d'aspect terreux, gris mat, où l'on distingue souvent des cristaux de sanidine, de grosseur moyenne, assez brillants, et que sa teneur en silice rapproche des trachytes proprement dits; mais plusieurs lithologistes y ont vu au microscope de nombreux grains de quartz, surtout de tridymite, et l'assimilent aux trachytes du Drachenfelds. La domite du Puy-de-Dôme contient en outre du mica noir de l'amphibole, du pyroxène, de la magnétite, du sphène et de nombreux microlithes de sanidine. La domite miocène du Cantal a une composition analogue ; elle est moins riche en minéraux accessoires.

Au point de vue de la structure, on peut citer quelques autres variétés assez curieuses : les *trachytes globulaires* ; les *trachytes sphérolitiques*, dont la pâte est criblée de sphérolites (voy. p. 289) ; les *trachytes bréchiformes*, dont la masse est composée de morceaux anguleux de cette roche, de nuances différentes, agglomérés par une pâte de même nature.



Fig. 296. — ANDÉSITE A AMPHIBOLE D'ARKANGELO (SANTORIN) *(Page 531)*

La roche forme comme un amas intercalé dans les assises de l'andésite amphibolique et épanché comme celle-ci pendant le pliocène supérieur.

I. — Fer oxydulé, pyroxène vert (20), amphibole brune (21), sanidine (3), labrador (7).

II. — Magma vitreux fluidal (59), avec vacuoles (*a*).



(D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY, Pl. XXX. fig. 1.)

La plupart de ces variétés appartiennent plutôt aux liparites qu'aux trachytes proprement dits.

Les trachytes sont tertiaires ou postertiaires; ils sont configurés en dômes, qui surgissent par groupes au milieu des couches plus anciennes. On les voit aussi remplir les fissures irrégulières des roches qu'ils traversent sous la forme de dykes ou de filons. Ils présentent quelquefois une division prismatique analogue à celle des porphyres. Ils se montrent enfin étendus en nappes sur le sol, et l'on reconnaît que dans ce cas ils ont coulé à la manière des basaltes. Certaines de ces coulées proviennent d'orifices qui ont conservé nettement les caractères volcaniques, et les roches qui les composent méritent le nom de *laves*.

Elles sont souvent plus ou moins criblées de bulles vacuolaires (lave de la Solfatare, près de Naples). Il n'est pas rare que les parties supérieure et inférieure des nappes trachytiques aient cet aspect spongieux; elles sont à demi vitreuses, criblées de bulles, porphyroïdes (Mont-Dore; Toscane). Cette variété porte dans la description des roches, d'après Cordier, le nom de nécrolithe feldspathique.

TYPE TRACHYTIQUE A FELDSPATHS ALCALINO-TERREUX.

Andésites. — L'on appelle ainsi des trachytes plus ou moins poreux, souvent granitoïdes, qui diffèrent des trachytes proprement dits par l'absence de sanidine. La masse consiste en une pâte de feldspath vitreux, fusible au chalumeau, et tenant à peu près 60 o/o de silice. Il n'est pas rare que des cristaux se montrent dans la pâte; lorsqu'ils sont frais, ils sont marqués de stries caractéristiques (fig. 296).

Les trachytes des Andes ont souvent une texture grenue.

Minéraux accessoires : **hornblende, augite, magnésie, biotite,** quelquefois du **quartz.**

Le feldspath forme des bandelettes minces et des cristaux assez

gros, à groupements complexes. Les premiers éléments se groupent, comme les feldspaths tricliniques, parallèlement au plan g^1; mais ces premiers groupes s'associent à leur tour d'après une loi différente et forment néanmoins une masse à contours réguliers. L'orthose ne fait pas absolument défaut. Ordinairement la biotite s'y associe à la hornblende.

Comme les trachytes, les andésites sont des roches jeunes, au plus tertiaires. Elles affectent les mêmes manières d'être que les trachytes; elles se divisent quelquefois en énormes piliers, plus ou moins polyédriques; elles forment ces cônes si élevés des Andes qui dominent tous les alentours.

Elles renferment en général, outre les feldspaths, un élément noir qui leur fait donner les noms d'*andésite à mica noir*, *andésite à amphibole*, *labradorite à pyroxène* (voy. chapitres suivant, roches à amphibole et à pyroxène).

Brèches andésitiques. Souvent associées à des cinérites dans le Cantal.

Dacites. — Trachytes à feldspath alcalino-terreux, quartzifères, souvent riches en mica. En Transylvanie, elles sont miocènes.

Phonolithe (Syn. *Pétrosilex fissile*, *Klingstein*). — Masses compactes, d'un gris verdâtre ou jaunâtre plus ou moins foncé, qui se séparent ordinairement en plaques minces, compactes et sonores. Elles résultent du mélange intime de deux parties : l'une formée de **sanidine** indécomposable par les acides; et l'autre de **néphéline** mêlée souvent d'haüyne et de zéolithes, décomposable par l'acide chlorhydrique.

L'on aperçoit quelquefois à l'œil nu, sur les surfaces à cassure esquilleuse de ces roches, des cristaux tabulaires de sanidine, aplatis suivant la face de clivage g^1, et parallèles aux plans de division de la roche. La phonolithe fond au chalumeau en verre grisâtre et verdâtre. Dans le tube bouché, elle donne quelques centièmes d'eau.

Éléments accessoires : **pyroxène**, plus rarement **hornblende** en prismes aciculaires noirs; **sphène** jaune de miel ou roussâtre;



Fig. 297. — PHONOLITHE DE THIÉZAC (CANTAL).

(*Page 532*)

Grossissement = 84 *diamètres. Lumière polarisée, nicols croisés.*

La roche constitue un puissant filon, traversant l'andésite à amphibole de la région. Le dessin représente les minéraux suivants :

I. — Fer oxydulé, hornblende (21), augite (20), noséane (18), sanidine (3), haüyne en petits cristaux (18).

II. — Microlithes de sanidine (3) très prédominants, d'oligoclase et d'albite (5-6), d'augite (20), de néphéline (9). Les très nombreux rectangles ou hexagones microlithiques visibles en lumière naturelle s'éteignent presque tous en lumière polarisée et doivent être rapportés à un minéral cubique ou à de la néphiline altérée.

L'amphibole s'entoure fréquemment de couronnes de microlithes de pyroxène.



(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY*, Minéralogie micrographique. — *Atlas, Pl. XLVI, fig. 2.*)

mica brun ou blanc d'argent; **zéolithes**; pas de quartz et très peu de plagioclases ; la densité oscille entre 2,5 et 2,6.

Variétés : Phonolithe proprement dite (schistoïde).

P. sans schistosité, homogène ou porphyroïde.

P. mouchetée ou tigrée, renfermant de la noséane.

Ces matières essentielles ou accidentelles, feldspaths, néphéline, sphène, etc., sont développées en grains ou en cristaux dans une masse formée d'un mélange à grains très fins des matières essentielles.

M. Rosenbusch a observé que, si la sanidine est dominante dans la masse fondamentale, les bandes de cette matière, parallèles l'une à l'autre, prennent par places une structure fluidale ; que si la néphéline l'emporte, l'aspect change et devient comparable, suivant l'expression heureuse de Boricky, à la structure cellulaire des plantes; que si la sanidine et la néphéline sont en quantités égales, la roche prend la structure grenue. Au microscope, la sanidine a le même aspect que dans les trachytes. Elle a souvent des dimensions microlithiques et s'allonge suivant l'axe de la zone mg^1. La néphéline entre plus ordinairement dans la masse fondamentale que dans les cristaux de dimensions sensibles. La leucite, comme la sanidine, se montre en cristaux isolés et fait partie de la masse.

Les phonolithes ont une structure trachytique.

Certaines contenant de l'amphibole ou du pyroxène et se rapprochant des porphyres, ont été appelées **phonolithes à amphibole** ou à **pyroxène**, suivant la nature de leur élément noir, par M. Michel Lévy (fig. 297).

De l'orthose lamelleux et de l'amphibole ou du pyroxène ouralitisé en partie se sont constitués d'abord, avec accessoirement : labrador, néphéline, leucite, apatite, magnétite et sphène. Puis, un magma microlithique de néphéline, de pyroxène et d'orthose a empâté le tout.

Rosenbusch distingue parmi les phonolithes :

1° Les *phonolithes à sanidine et à néphéline,* avec haüyne,

augite ou hornblende, sphène, mica, plagioclases, qui passent à la téphrite, lorsque le feldspath triclinique y devient abondant (fig. 296);

2° Les *phonolithes à sanidine et à leucite*, roches peu importantes, qui renferment du sphène;

3° Les *phonolithes à leucite et à néphélines* (*leucitophyres* de M. Michel Lévy). Pendant la première époque de consolidation se sont formées: sanidine, leucite, augite, magnétite et accessoirement: haüyne, sphène, néphéline; pendant la seconde s'est consolidé le magma composé de : microlithes d'augite et de magnétite et accessoirement de néphéline et de grenat mélanite.

On y trouve de la noséane. La masse fondamentale est faite de leucite et de néphéline. Les cristaux épars sont le sphène, l'haüyne, la mélanite, etc.

Les phonolithes présentent en masses les mêmes manières d'être et le même aspect que les trachytes; mais leurs pics sont plus isolés, en même temps que plus hardis, plus escarpés (Mont-Dore). Elles traversent souvent les trachytes. Celles du Mont-Dore paraissent avoir précédé de très peu le basalte des plateaux du centre de la France.

TYPES VITREUX

La pâte ou masse fondamentale des porphyres et des trachytes est souvent plus ou moins vitreuse; elle le devient quelquefois complètement. Elle donne lieu à des roches caractérisées par l'état vitreux de la totalité ou de la plus grande partie de leurs éléments. Dans une même formation éruptive, il n'est pas rare d'observer tous les passages entre l'état microcristallin ou cryptocristallin et l'état vitreux de la pâte de la roche. A l'état vitreux, la masse présente souvent au plus haut degré la structure fluidale. Au milieu de cette pâte on distingue quelques cristaux bien développés ou restés microlithiques qui sont séparés de la masse vi-



Fig. 299. — OBSIDIENNE ANDÉSITIQUE A PYROXÈNE DE SICCIPAMBA (NOUVELLE-GRENADE). *(Page 535)*

Au milieu d'un magma entièrement vitreux (59), on distingue des globules (61) également vitreux, ayant l'apparence pétrosiliceuse radiée ou homogène. On y observe en outre des traînées cristallitiques parallèles de fer oxydulé (29) et de pyroxène (20).



(D'après MM. FOUQUÉ et LÉVY, Pl. XXX, fig. 2.)

treuse, et surtout des corps microscopiques à formes variées, provenant de la dévitrification de cette masse.

Obsidienne. — Roche vitreuse qui a au plus haut degré l'éclat, la cassure conchoïdale et la fragilité du verre. Elle se brise en éclats tranchants. Vert noirâtre, noir de velours ou brune, plus rarement grise ou d'un gris verdâtre, elle est quelquefois chatoyante ou rubanée. Par transparence en lames minces, elle est presque incolore en général et limpide. Son indice de réfraction est 1,448. La densité est d'environ 2,4.

Elle contient peu ou point d'eau; la proportion de la silice y peut atteindre 80 o/o. Au chalumeau, elle fond en verre blanchâtre.



Fig. 298. — Structure fluidale avec cristallites isolés dans l'obsidienne du Caucase, d'après Cohen.

Analyse de l'obsidienne du pic de Ténériffe par M. Ch. Sainte-Claire Deville : silice, 69,71 ; alumine, 19,23 ; fer oxydulé, 5,48 ; manganèse oxydulé, 0,30 ; chaux, 0,58 ; alcali, 14,70 (fig. 297 et 298).

Variétés : *Obsidienne porphyroïde*, avec feldspath (fig. 299), *O. ponceuse*, avec trous plus ou moins volumineux ; *O. filamenteuse*, formée d'un amas de filaments capillaires ; *O. globuleuse* (*marékanite*), en nodules vitreux, disséminés dans la perlite à

Marekanka près Okhotsk (Sibérie); (*O. sphérolithique*, empâtant des sphérolithes.

Au microscope, on y aperçoit assez souvent la structure fluidale (fig. 298) et des microlithes en forme de prismes allongés, les uns isotropes, les autres agissant sur la lumière polarisée, des lamelles de mica, des aiguilles d'augite, peut-être d'amphibole et surtout de la magnétite. Lorsqu'on attaque l'obsidienne par l'acide fluorhydrique, on y voit apparaître des microlithes.

A de forts grossissements, elle montre des pores à bords foncés, à formes irrégulières, quelquefois elliptiques, et remplis de gaz et de vapeurs. Dans un très grand nombre d'entre elles, on voit des fissures capillaires qui ressemblent à des trichites, rayonnant autour d'un grain foncé de magnétite et provenant de la contraction déterminée dans la masse par son refroidissement.

Rétinite (*Pechstein, pitchstone, pierre de poix, perlites*). — Roche vitreuse ou demi-vitreuse, translucide sur les bords, fragile.



Fig. 299. — Rétinite de Saint-Wendel.

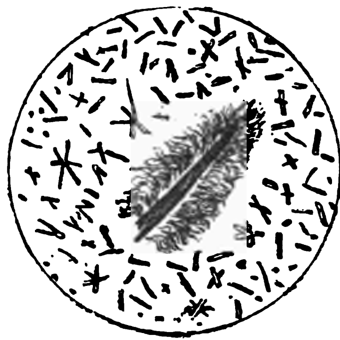


Fig. 300. — Rétinite trachytique de Cattajo, d'après Rosenbusch.

L'éclat en est assez gras; la cassure moitié conchoïdale, moitié esquilleuse; l'aspect, celui de la poix, de la résine, ou d'un émail, d'une terre cuite, suivant que l'éclat en est plus ou moins vif; les couleurs y varient du vert olive au brun jaunâtre, quelquefois au

noir ou au rouge, par suite d'un mélange d'oxyde de fer; la fusion au chalumeau en est facile; elle est accompagnée d'un dégagement caractéristique de vapeurs d'eau ammoniacale, quelquefois bitumineuse et presque toujours de boursouflement.

Les rétinites contiennent généralement plus de silice que l'orthose (environ 72 o/o), et moins d'alumine; la teneur en eau y oscille entre 5 et 10 o/o. La dureté en est un peu plus faible que celle de l'orthose; la densité approche ordinairement de 2,3.

Souvent elles deviennent *porphyroïdes* : elles renferment alors des cristaux d'orthose assez nets, visibles à l'œil nu, assez fréquemment des grains de quartz, et quelquefois même du mica, surtout lorsqu'elles se rattachent à des formations porphyriques. Elles sont des modifications vitreuses, soit des porphyres, soit des trachytes. Lorsqu'elles se rattachent aux trachytes, elles sont plus riches en silice, plus acides; lorsqu'elles dérivent des porphyres, elles ont le faciès d'une agate ou d'un émail et deviennent volontiers *porphyroïdes*, renfermant alors des cristaux, visibles à l'œil nu, de feldspath, de quartz ou même de mica.

Elles sont quelquefois globulifères, et leurs globules sont composées de feldspath, *rétinites perlaires*.

Dans quelques variétés, *rétinites zonaires*, l'on observe des zones qui ont alternativement l'aspect du verre ou celui d'un émail.

Dans quelques autres, la masse, vitreuse en général, offre des régions qui ont la texture du feldspath compacte et ressemblent à une brèche : *rétinite bréchoïde*. Enfin, certaines variétés présentent des cavités amygdalaires remplies d'agate, de calcédoine, etc.

Au microscope, la pâte vitreuse des rétinites est toujours plus ou moins dévitrifiée. On y observe un grand nombre de microlithes, souvent disposés d'après un arrangement fluidal.

Nous empruntons au bel ouvrage de M. Rosenbusch quelques dessins qui montrent la microstructure de ces roches.

Les trichites sont peu abondantes.

Quelquefois les produits dévitrifiés prennent des formes végé-

tales, par exemple dans la rétinite de l'île d'Arran, qui renferme des cristaux de quartz, de feldspaths, de hornblende (fig. 301 et 302).



Fig. 301. — Retinite du mélaphyre d'Arran.



Fig. 302. — Rétinite de l'île d'Arran.

Les figures 299 et 300 montrent la masse vitreuse des rétinites de Cattajo et de Saint-Wendel, résolubles au microscope en microlithes isolés ou groupés.

On voit que les rétinites des trachytes ne se distinguent pas au microscope de celles des porphyres. C'est sur le terrain seul qu'on reconnaît la formation dont elles font partie.

On appelle quelquefois *hyalotrachytes*, les roches trachytiques vitreuses les moins riches en silice.

Perlites. — On a réuni dans un groupe particulier des roches vitreuses composées en totalité ou au moins en grande partie d'élémenis globuliformes ou polyédriques. Les globules, qu'on a comparés à des perles, sont formés de lamelles minces, membraneuses, à éclat gris, qui s'emboîtent comme les tuniques d'un oignon, ou bien ne présentent qu'une masse indivise, semblable ou à du verre ou à un émail. Ils se sont groupés quelquefois confusément, ou bien ils se sont comprimés en s'accollant, comme l'indique leur forme quelquefois polyédrique. Dans certains cas, ils sont isolés les uns des autres au milieu d'une pâte vitreuse ou

semblable à un émail, et cette pâte renferme, en outre, tantôt des cristaux de sanidine ou du mica, tantôt de l'opale, des granules d'obsidienne (marékanite), des filaments microscopiques analogues à ceux des obsidiennes, enfin des sphérolithes (voy. p. 285, au mot *Obsidienne*).

Dans les perlites sphérolithiques (fig. 303 et 304), la silice atteint les proportions de 70 à 80 o/o, et leur densité est plus forte que dans les rétinites, auxquelles on peut les rattacher néanmoins à cause de leur origine commune et de l'analogie de leur composition générale.

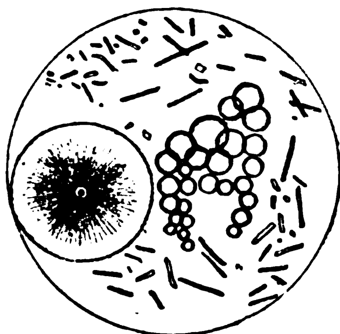


Fig. 303. — Perlite de Telkibanya.



Fig. 304. — Perlite de Telkibanya, par Rosenbusch.

Au microscope, on ne voit que des portions de courbe analogue aux écailles d'un oignon.

Leur pâte vitreuse, isotrope, renferme un nombre souvent prodigieux de microlithes et de trichites, produits par dévitrification, ainsi que des feldspaths, de la biotite dichroïque, des grains de magnétite et des sphérolithes.

Cendres trachytiques. — Poussière grisâtre, formée de cristaux microscopiques, qui résulte quelquefois de la désagrégation du trachyte, mais le plus souvent de déjections cinériformes, qui ont accompagné la sortie de ces roches.

Lapilli ponceux. Cendres ponceuses. — La ponce apparait

fréquemment au milieu des trachytes, comme étant une de leurs variétés de texture. Elle est encore un des produits de déjection des volcans actuels, sous la forme de blocs, de lapilli ou de cendres.

Tufs, conglomérats trachytiques et ponceux. — Les fragments, les lapilli ponceux, les cendres ponceuses ou trachytiques projetés par les volcans ont été emportés par le vent à des distances quelquefois considérables, et souvent remaniés, modifiés, cimentés par les eaux de l'atmosphère ou des ruisseaux et des mers. Il en résulte ces masses en général à fond argiloïde, que l'on appelle : *Tufs, conglomérats trachytiques, phonolithiques, ponceux.*

Tufs trachytiques. — Roche friable ou compacte, grisâtre, jaune d'ocre, terreuse, ayant l'aspect d'une boue volcanique solidifiée, renfermant quelquefois des cristaux de sanidine, de mica, etc.

Brèches, conglomérats trachytiques. — Fragments anguleux, galets arrondis de trachyte, mêlés souvent de débris de roches différentes, cimentés par une pâte qui consiste en tuf trachytique.

Tufs phonolithiques. — Débris de phonolithe, mêlés de fragments de cristaux de sanidine, de mica, de hornblende, de fer magnétique, réunis dans une pâte terreuse, qui fait effervescence avec les acides.

Tufs ponceux. — Boue de ponce, grisâtre, consolidée, mêlée de matières étrangères (Mont-Dore en France; tuf de Pausilippe, près de Naples).

Conglomérats ponceux. — Fragments de ponce, agglutinés avec quelques débris de trachyte, d'obsidienne, par un tuf ponceux plus ou moins apparent.

Trass (variété de conglomérat ponceux). — Ce sont des roches terreuses, mates, grisâtres, jaunâtres ou brunâtres, plus ou moins compactes, formées d'une poussière ponceuse, décomposée, qui englobe des fragments de ponce, et quelques morceaux de lave, de schistes argileux, des cristaux de feldspath, de mica, des troncs d'arbres carbonisés. Le trass donne, dans le tube fermé, de l'eau,

qui contient souvent de faibles quantités d'ammoniaque, avec un peu de chlore et même d'acide sulfurique. Il fond souvent avec difficulté en émail grisâtre. Il forme des couches puissantes sur la rive gauche du Rhin, où il est employé comme mortier hydraulique. D'après Cordier (1), la pâte du Trass serait trachytique, plutôt que ponceuse, et le ciment consisterait en hydrosilicate d'alumine provenant de la décomposition des cendres, et quelquefois en alunite. Cordier reconnaît bien des roches provenant de la décomposition de la ponce, ou des cendres ponceuses; mais il appelle les premières *Asclérines* (Perrier, près d'Issoire); les dernières *Alloïtes* (grotte du Chien).

CHAPITRE II

FELDSPATHS ALCALINS ET ÉLÉMENTS FERRO-MAGNÉSIENS

§ 1. — TYPE GRANITOIDE.

Syénite. — Nom donné autrefois par Pline à une pierre de Syène (Assouan) Haute-Égypte, et plus tard par Werner aux roches granitoïdes composées de feldspath et de hornblende. Haüy adopte cette composition pour la roche appelée par lui siénite : Feldspath laminaire, ordinairement coloré et amphibole laminaire.

« Modifications dépendantes de la structure *a* commune, *b* porphyroïde, *c* basaltoïde. Basalte noir égyptien, basalte antique.

« La siénite accompagnée de quartz et de mica est la siénite granitique de M. Tondi. Celle d'Égypte à feldspath rouge a été appelé granite rouge et granite égyptien (2) ».

(1) Voy. Cordier, *Description des Roches*, p. 254.
(2) Haüy, *Traité de minéralogie*, t. IV, p. 534.

Les syénites sont des roches granitoïdes composées d'orthose rouge incarnat, violâtré, accompagné d'oligoclase verdâtre, de hornblende d'un vert foncé ou noire, d'oligiste, de traces de carbonates, de pyrite cubique d'épidote. Densité 2,52. Dans certaines, il y a surabondance d'amphibole (Dresde, en Saxe); dans celle du ballon de Servance, il entre un peu de quartz, mais lorsque le quartz est un élément essentiel et en partie de première consolidation, la roche rentre dans les granites. Ex. : le granite syénitique d'Égypte lui-même.

Éléments accessoires, mica, tourmaline, épidote, grenat, sphène, magnétite, pyrite, etc.

Au microscope, on voit que l'orthose renferme parfois des paillettes de fer oligiste ou même des fluides; qu'il est souvent accompagné de feldspaths plagioclases; que ce mica magnésien est d'un vert clair; que l'amphibole en grains verts se rapproche des pyroxènes par ses lignes d'extinction; qu'il n'est pas rare de rencontrer auprès de l'amphibole une certaine quantité d'épidote.

Il existe peu de syénites sans quartz.

Dans certaines variétés le grain devient plus fin, et de grands cristaux de feldspath les rendent porphyroïdes. Les syénites forment des amas considérables à cimes arrondies dans les gneiss, les micaschistes, dans les terrains de transition. Dans les Vosges, elles se rattachent aux granites syénitiques par des passages insensibles.

Les syénites à amphibole ferrugineuse se décomposent facilement en une argile ocreuse.

Syénite éléolithique (*syénite zirconienne*). — Roche granitoïde composée de feldspaths alcalins (orthose et anorthose) en cristaux quelquefois très volumineux, à beaux clivages lamellaires, offrant sur le plan perpendiculaire aux deux clivages de beaux jeux de lumières, d'amphibole en cristaux d'assez grandes dimensions, de cristaux de zircon, de néphéline (*éléolithe*), pierre grasse contenant comme éléments accessoires wohlérite, eukolite, eudialyte, molybdénite, fer titané, etc.



Fig. 305. — PORPHYRE SYENITIQUE A LABRADOR ET PYROXÈNE DE CRESSY-SUR-SOMME (SAONE-ET-LOIRE).

(Page 543)

Grossissement = 84 diamètres. Lumière polarisée, nicols croisés.

Cette roche forme un filon puissant dans les schistes maclifères dévoniens qui paraissent à la base du carbonifère de la région. Le dessin représente les minéraux suivants :

I. — Augite (20), labrador (7).

II. — Microlithes d'albite (5) et d'oligoclase (6), microlithes de hornblende (21).

III. — Vacuoles remplies de quartz (1) et de calcite (49).

L'augite est plusieurs fois maclé suivant h[1], il est souvent ouralitisé en partie ou en totalité. Microlithes d'albite souvent maclés suivant la loi de l'albite : leurs extinctions ne dépassent pas 20°... Microlithes d'oligoclase rare, plus fins, plus allongés. Microlithes de hornblende d'un vert émeraude.

(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY*, **Minéralogie micrographique.** — *Atlas, Pl. XXI, fig. 2.*)

Miascite. — Roche grenue composée d'**éléolithe**; de **microcline, d'orthose**; de **mica noir** et **sodalithe**; accessoirement : amphibole ou plutôt *arfvedsonite, zircon, oligoclase, apatite, sphène, pléonaste*. On y rencontre aussi : quartz, albite, cancrinite, pyrochlore, magnétite, pyrite cubique, etc.

A cette roche, pourrait se rattacher la *foyaïte* des montagnes de Foya, dans les Algarves, au sud du Portugal.

Syénites à pyroxène. — On appelle maintenant *syénites* toutes les roches composées d'un élément ferro-magnésien et d'un feldspath alcalin, sans quartz essentiel. Aussi appelle-t-on *syénites à pyroxène*, celles où le pyroxène joue le rôle d'élément noir. Ex. : roche du Monte Monzoni.

Les syénites récentes sont celles dont l'éruption est postérieure au crétacé.

§ 2. — TYPE PORPHYROÏDE

Porphyre syénitique. — *Basalte égyptien ou antique*. C'est de cette roche que Strabon a décrit la configuration extérieure : « de Philœ à Siènes, la route traverse une vaste plaine, mais elle est bordée de chaque côté par une série interrompue de rochers noirs, durs, lisses, en fûts de colonnes, étagés les uns au dessus des autres. »

C'est une roche à structure trachytoïde, dont la pâte renferme des cristaux d'orthose, mêlés de feldspaths alcalino-terreux, d'amphibole. Elle a des couleurs variées, inclinant vers le rouge ou le verdâtre. Dans la variété dite *basaltoïde*, la grande abondance de l'amphibole produit un fond de couleur noire (fig. 305).

Minette. — Roche composée de **mica** (variété méroxène) en gros cristaux, abondants, d'un jaune de bronze, ou d'un jaune d'or et d'**orthose** rouge, ou rose, parfois verdâtre et quelquefois décomposé, dans un magma compact, de composition analogue. Accessoirement : *zircon, épidote, apatite, rutile, olivine, talc, magnétite*.

Silice de 45 à 55 o/o.

Types trachytiques à feldspaths alcalins à orthose dominant.

Trachytes à amphibole. — Trachytes dont l'amphibole devient un élément essentiel (voy. plus haut).

CHAPITRE III

AMPHIBOLE ET FELDSPATHS CALCOSODIQUES

a. — Roches prétertiaires.

Diorite. — *Composée d'amphibole lamellaire et de feldspath ordinairement blanchâtre et compact.* — Telle était la définition donnée par Haüy de cette roche qu'il a nommée ainsi pour exprimer le contraste de la couleur ordinairement blanchâtre du feldspath avec celle de l'amphibole ordinairement noire ou d'un vert noirâtre, et celle du tissu lamellaire de l'amphibole avec l'aspect compacte du feldspath. Dans la syénite c'est le feldspath qui l'emporte, ajoute Haüy; dans le diorite, c'est l'amphibole et les deux éléments y sont plus confusément mélangés (1).

Haüy distinguait quatre variétés :

Commun;

A feldspath lamellaire;

Porphyroïde, à grains bien distincts, avec cristaux de feldspath;

Porphyrique, à très petits grains, d'apparence presque homogène, avec des cristaux de feldspath disséminé, grünstein porphyr.

(1) Haüy, *Minéralogie*, t. IV, p. 540.

PLANCHE C

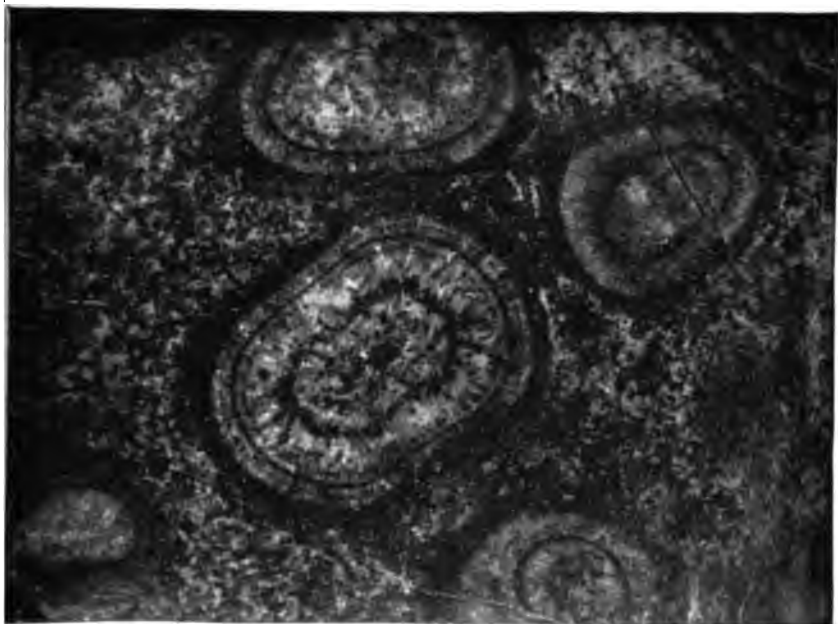


Fig. 1. — Diorite orbiculaire.
(A peu près grandeur naturelle).



Fig. 2. — Diorite orbiculaire.
(Grandeur naturelle).

Vis-à-vis la page 545.

Aujourd'hui, on sait que le feldspath est calcosodique.

Le diorite est un agrégat grenu, à structure grenue, souvent ophitique, noirâtre, ou d'un vert plus ou moins foncé dans l'ensemble, plus exactement d'un blanc moucheté de noir, composé de hornblende et d'**oligoclase** souvent en quantités à peu près égales (Hartz et Vosges). Dans les diorites des Pyrénées (*ophite de Palassou*), la hornblende est généralement dominante.

Les grains de hornblende y sont prismatiques ; leur cassure est lamellaire, brillante, noire ou d'un vert foncé ; quelquefois ils s'allongent et se rassemblent en petites houpes. Ceux d'oligoclase sont striés, blancs, ou d'un blanc jaunâtre ou verdâtre. La densité est d'environ 2,9.

Éléments accessoires : **quartz**, en grains grisâtres, très fréquent dans les variétés grenues, où il atteint la proportion de 4 à 5 o/o ; **albite**, rare ; **orthose**, dans les diorites du Hartz, d'après Keibel ; **labrador** ; **pyroxène** ; **épidote**, très fréquente surtout dans les diorites des Pyrénées, soit disséminée dans leur masse, soit en druses cristallines sur les parois de leurs cavités. Durocher a trouvé jusqu'à 40 o/o d'épidote dans un diorite de Saint-Beat (Haute-Garonne).

Minéraux accidentels : *pyrite cubique*, *magnétite*, *chlorite*, *sphène*, *pyrite magnétique*, *mica*, *calcaire*. Les diorites se décomposent souvent en blocs, quelquefois plus ou moins polyédriques, ordinairement arrondis, où l'on voit une croûte argileuse, jaune ou brune, riche en magnésie et en hydrate d'oxyde de fer.

Au microscope, le feldspath plagioclase apparaît en bandelettes étroites et en grains finement striés ; il est souvent utile, pour distinguer les stries, de traiter la section mince par quelques gouttes d'acide chlorydrique étendu qui lui enlèvent ses parties altérées. Quelquefois il y a un peu d'orthose. La hornblende verte, ou jaunâtre, bleuâtre, et quelquefois brune, se montre en longs prismes très fibreux ou en grains ; elle est souvent décomposée en une matière verte ; elle est peu dichroïque. Le quartz, quand il y en a, est riche en inclusions fluidales. La magnétite, l'apatite, le

sphène ont leurs caractères ordinaires. Le mica magnésien, d'un rouge brun, est très dichroïque lorsqu'il est vu sur la tranche; ses lamelles ont leurs contours arrondis. Le calcaire, qu'on reconnaît surtout par son effervescence avec les acides étendus, est en général un produit de décomposition; cependant quelques auteurs le regardent comme de formation primordiale dans certains cas où il est enveloppé par des feldspaths, tout en conservant des contours nets et réguliers.

Variétés. *Diorite ordinaire* ou *granitoïde*, à grains plus ou moins gros, tous de grosseur à peu près semblable. Le grain est d'autant plus petit que le filon est plus mince; cependant Delesse a observé des grosseurs de grains très différentes dans les mêmes masses. D. porphyroïde, en grains assez fins, avec gros cristaux de hornblende ou d'oligoclase.

Diorite schistoïde. — Hornblende en lamelles formant des zones alternes avec de l'oligoclase.

Diorite micacé de Delesse. Beaucoup de mica; pas de quartz; 48,9 o/o de silice.

Kersanton. Syn. *Kersantite* (Delesse). — Roche composée essentiellement d'*oligoclase* et de mica magnésien brun associé à de l'augite, parfois à de l'amphibole. Dans celui de Bretagne, il s'est formé ensuite du quartz et de la calcédoine.

Éléments accessoires : *Augite* ou *hornblende*, *calcaire*.

De couleur assez foncée, assez tendre pour se prêter aux travaux de sculpture les plus délicats, assez tenace pour conserver intactes les formes qu'on lui a données, cette roche a une structure en général porphyroïde. On y observe une masse de grains très fins qu'on peut ordinairement décomposer en ses éléments au microscope, et, sur ce fond, des cristaux de feldspath et de mica. Il s'y ajoute en général, tantôt de la hornblende brune ou verte, tantôt, le plus souvent, de l'augite en prismes verts.

Le kersanton est, en général, poreux, et les pores sont souvent remplis de grains de *calcaire* de formation évidemment postérieure, qui donnent à la masse la propriété de faire effervescence

avec les acides. On observe aussi de la *chlorite*, qui est sans doute, comme le calcaire, un produit de décomposition. Son apparition est postérieure au carbonifère.

Les auteurs donnent souvent à cette roche le nom de *kersantite*. On a proposé d'appeler kersantites celles qui contiennent de l'amphibole, et kersantons celles qui renferment du pyroxène, celles-ci sont les variétés les plus nombreuses en Allemagne.

Porphyres à amphibole et à feldspath calcosodiques (**pretertiaires**). — Haüy avait appelé *aphanite* une roche dont il donnait la définition suivante : roche formée d'amphibole compacte et de feldspaths fondus imperceptiblement l'un dans l'autre ; apparence homogène, couleur noirâtre. Il admettait plusieurs variétés :

1° Commun. Trapp de Dolomieu ;

2° Porphyrique (grünporphyre de Werner), vulgairement ophite ou serpentin. Porphyre vert des anciens : cette description est celle qu'on pouvait donner à l'époque d'Haüy de la roche appelée aujourd'hui porphyrite andésitique à amphibole.

Porphyrites andésitiques à amphibole formées de microlithes d'**oligoclase** et d **albite**, parfois d'**orthose**, mêlées, dans certaines variétés, de microlithes d'**amphibole**, empâtant des cristaux de **hornblende** et de **labrador**, des grains de **quartz d'épidote** et contenant accessoirement des cristaux d'oligoclase, de *fer oxydulé*, du *mica noir*, du *pyroxène*, de l'*apatite*.

Mélaphyre andésitique. — On donne aujourd'hui le nom de mélaphyre andésitique à la roche précédente, quand il s'y ajoute du péridot ordinairement grenu.

Ces roches sont très tenaces ; elles sont d'un gris verdâtre ou noirâtre ; elles ont la cassure inégalement esquilleuse, souvent, luisante. Celle des Vosges a pour densité 2,568 et contient 46,83 de silice. La pâte offre souvent une structure fluidale très nette. On y a signalé des variétés schisteuses.

Les diorites forment des amas considérables, à la manière des granites, dans les roches cristallines et dans les terrains de transition.

Certaines variétés à texture schisteuse paraissent subordonnées aux micaschistes ou aux gneiss.

Corsite (*diorite orbiculaire*, *diorite globulaire*, *granite de Corse*). — Assemblage grenu d'**anorthite**, de **hornblende** et d'une petite quantité de quartz. Les éléments affectent dans cette roche une disposition caractéristique : ils s'y disposent fréquemment en espèces de membranes à peu près sphériques, où dominent alternativement l'anorthite, et la hornblende ; dans une section quelconque, l'on aperçoit nettement les zones, successivement blanches et noires ou d'un noir brunâtre, qui en résultent.

La centre des globules est grenu.

La roche contient 48,05 de silice et 11,04 o/o de chaux. Elle a pour densité 2,768. Elle contient 84 o/o d'anorthite, soluble dans les acides, et 16 o/o de hornblende. Ces déterminations sont dues à Delesse.

Au microscope, le feldspath montre les extinctions de l'anorthite ; il forme des aiguilles fines, serrées, qui divergent autour d'un centre commun, et qui sont interrompues par les lamelles ou écailles d'amphibole disposées en couches concentriques les unes aux autres. On y rencontre enfin de l'augite très dichroïque.

Tonalite. — Roche grenue et à grains fins, composée de feldspath strié, d'un blanc de neige, qui a les caractères extérieurs de l'oligoclase, mais qui ne contient guère que 57 o/o de silice ; de quartz ordinairement en grains grisâtres, et de petites quantités de hornblende vert noirâtre et de mica brun.

Minéraux accidentels : *sphène*, *magnétite*, *pyrite*, *corindon*, *orthite*, *épidote*.

Cette roche ne se rencontre guère qu'à Tonale, dans les Alpes méridionales. C'est un diorite quartzifère.

Certains diorites contiennent de l'éléolithe en assez grande abondance.

b. — Tertiaires ou posttertiaires

Andésites à hornblende. — Eléments essentiels : **feldspaths calcosodiques** ordinairement microlithiques, voisins de l'oligoclase et du labrador, à groupements simples, mais quelquefois polysynthétiques; **hornblende** en cristaux bruns très dichroïques, aciculaires, ou en agrégats grenus; matière vitreuse isotrope plus ou moins abondante (fig. 305).

Éléments accessoires : *pyroxène verdâtre*, peu dichroïque; *magétite*, *mica magnésien*, *apatite*, *trydimite*, *sanidine*.

Dans certaines andésites, le mica devient assez abondant pour leur mériter le nom d'*A. à biotite*.

Structure : grenue avec régions vitreuses et microlithiques où l'on observe quelquefois la disposition fluidale.

Dacites à hornblende. — Andésites à hornblende quartzifères. Aux éléments essentiels des andésites s'ajoute souvent de la **biotite** et du **quartz**, en cristaux généralement distincts à l'œil nu, renfermant quelquefois des inclusions vitreuses. Accessoirement : zircon, orthite, cordiérite, grenat.

Toutes ces roches forment des ballons; elles ont quelquefois l'allure filonienne.

Propylite. — Ce nom a été donné à une andésite amphibolifère d'un gris verdâtre, qui, au lieu d'avoir des formes ballonnées comme les précédentes, s'élance en obélisques et en tours. La roche est formée d'un feldspath calcosodique et de hornblende fibreuse aciculaire, verte, qui colore toute la roche; la hornblende a un éclat vitreux et des clivages très nets; elle s'altère souvent en épidote. Le quartz y renferme surtout des inclusions fluides.

Tufs des mélaphyres. — Sortes de bombes des mélaphyres tombées au fond d'une mer qui les a englobées d'un peu de grès rouge (rothliegende du Mansfeld).

Tufs dioritiques. — Roche tachetée, verdâtre, stratiforme, à grains de quartz, schiste argileux, hornblende, feldspath, diorite.

CHAPITRE IV

ÉLÉMENT DOMINATEUR PYROXÈNE. ROCHES A FELDSPATHS CALCOSODIQUES.

Presque toujours, les espèces minérales du groupe des véritables bisilicates, soit clinorhombiques (diopside, diallage, augite), soit orthorhombiques (hypersthène, bronzite, enstatite), sont associées à des feldspaths alcalino-terreux.

Type granitoïde.

Diabase (*Ophitone* de Cordier). — Le nom de Diabase avait été créé par Brongniart pour la roche appelée déjà diorite par Haüy. De lui-même, Brongniart avait retiré de la nomenclature ce mot qui faisait double emploi. D'un autre côté, Cordier, auquel on doit la première détermination précise de la composition minéralogique des basaltes, a donné il y a longtemps, au Muséum, dans ses leçons publiques, une classification excellente pour l'époque des roches pyroxéniques; il appelait ophitone le mélange de pyroxène et de feldspath gras encore indéterminé, d'âge prétertiaire. Cependant le nom de diabase reparaissait à l'étranger, mais appliqné à la roche dont il est ici question.

Le nom de Diabase est appliqué maintenant à une roche massive, grenue, composée de **feldspaths alcalino-terreux**, d'**augite**, de **magnétite** et d'une matière verte de la nature des *chlorites*, qu'on regarde comme un produit de décomposition.

Dans quelques-unes, l'**olivine** joue un rôle assez important pour qu'on puisse distinguer, avec Rosenbusch, celles qui renferment de l'olivine de celles qui n'en contiennent pas.

Minéraux accidentels : *pyrites*, *œil-de-chat*, *épidote*.

La proportion de silice y varie de 45 à 53 o/o ; la densité est

d'environ 2,8; elle atteint 2, 93 dans un certain nombre de variétés à grains fins de la Suède et du nord de l'Irlande.

Les diabases sont des roches éruptives antérieures aux terrains tertiaires, qui ont, avec les mélaphyres, les mêmes connexions que les dolérites avec les basaltes. Elles montrent certains caractères de la structure ophitique.

Variétés : D. *à grains moyens* (des terrains silurien et dévonien); D. *à grains fins* (des terrains carbonifère, peronien et triasique) ; D. *schisteuse*, d'un vert grisâtre ou noirâtre (Elbingerode, Hartz; Zwickau, Saxe); D. *calcarifère*, contenant beaucoup de grains calcaires parmi leurs produits de décomposition, et devenant assez tendre pour être rayée par une pointe d'acier; très facilement fusible; D. *amygdalaire*, à cavités remplies de calcaire. Dans les cavités, on rencontre avec le calcaire du quartz, de l'albite, de l'épidote, de la datolithe, de la chabasie, de l'analcime et autres zéolithes; à Kewenaw-Point, lac Supérieur, du cuivre et de l'argent natif, produits par réduction. Souvent les diabases ont une surface chagrinée, dont les parties creuses tiennent à la disparition de leur élément feldspathique altéré. La décomposition de ces roches donne lieu à la formation d'une argile marneuse, mêlée de grains noirs d'augite.

Le feldspath, souvent méconnaissable à cause de ses altérations, est strié lorsqu'il est frais. Sur les sections parallèles au plan g^1, les extinctions se font sous des angles plus élevés que dans le labrador, bien que l'analyse en fasse rapporter les cristaux à cette dernière espèce. Ces cristaux ne paraissent pas cependant tous attaqués par l'acide chlorhydrique bouillant. Ils se composent de lamelles réunies avec inversion suivant la loi de l'albite, qui se groupent de nouveau en se pénétrant suivant la loi de Carlsbad. Ils contiennent des inclusions vitreuses et des cristaux microscopiques d'augite et d'apatite; ils sont quelquefois kaolinisés, ou transformés en épidote, par adjonction de fer, avec séparation de quartz.

Au feldspath bioblique se mêle souvent une petite quantité d'orthose.

L'augite forme, en général, des grains irréguliers, à groupements simples ou polysynthétiques, ou des bandelettes entre les feldspaths, sillonnés ordinairement de stries comme la diallage, et de couleur généralement pâle, tirant sur le brun et le jaune, ou même sur le violet. On rapporte à la chlorite la matière fibreuse qui colore si souvent la masse en vert. Cette variété de chlorite, appelée *viridite*, est assez abondante et accompagnée d'épidote, de calcédoine et de sphène.

Une partie des diabases de la basse Silésie contiennent, parmi leurs éléments essentiels, de la hornblende polychroïque (bleu violacé et jaune clair), souvent groupée avec l'augite, de façon que les deux substances ont leurs axes parallèles, enfin, de l'Ouralite; l'ouralitisation de l'augite caractérise les diabases cambriennes qui passent aux amphibolites. Comme produits de décomposition ou de formation secondaire, se rencontrent aussi, dans cette roche, de la chlorite, du calcaire de l'oligiste et le leucoxène de Gümbel accompagnant le fer titané (massif de Beyrich). Décomposée, la roche présente un agrégat de quartz, de calcaire, de chlorite, d'épidote et d'oxydes de fer. Cette roche passe aux diorites. Comme types de diabases, on peut citer les trapps de l'Écosse occidentale et des Hébrides. Ceux de l'île d'Arran contiennent du quartz, qu'on regarde comme de première formation.

Il en est enfin qui contiennent tant de calcaire que les anciens auteurs en avaient fait une roche particulière sous le nom de *diabase calcarifère* (Kalkdiabas); souvent le calcaire donne à la roche un aspect variolitique. Les diabases ont une tendance très marquée vers la texture schisteuse. Dans le pays de Nassau, on a donné le nom de *Schalstein* à une de ces roches, qui se compose souvent d'écailles ou de tuniques concentriques comme celles d'un oignon. On a même émis l'opinion que certaines de ces roches à texture schisteuse pourraient avoir une origine vraiment sédimentaire et être devenues cristallines par des actions postérieures.

La diabase est apparue dans les étages les plus anciens, dans le précambrien du Beaujolais, le silurien du Harz et du pays de

PLANCHE D



Structure porphyrique dans une diabase

Ayrshire, Ecosse.
Photo. du Geol. Survey.

Vis-à-vis la page 553.




Galles, le dévonien et le carbonifère d'Écosse; elle a formé les palissades d'Hudson dans le trias de l'Amérique du Nord; elle a bouleversé les calcaires secondaires de la côte occidentale des Andes, le crétacé de la Silésie et de la Moravie. La *monzonite* est une diabase du Muschelkalk du Tyrol.

Ophites des Pyrénées. — Palassou a donné ce nom à un ensemble de roches éruptives des Pyrénées qu'on rattachait aux diorites. On les regardait comme composées d'un feldspath plagioclase et d'amphibole. A l'œil nu, beaucoup d'ophites paraissent un mélange grenu de hornblende, fibreuse, d'un noir verdâtre et de plagioclase; certaines pourtant tendent vers la structure porphyroïde.

Depuis les études de M. Michel Lévy, on les regarde comme composées d'ouralite (pyroxènes aciculaires associés en masses à clivages amphiboliques) et de plagioclase (oligoclase du Labrador), et enfin, de quartz granulaire. Accessoirement : oxydes de fer titanifères, pyrite, épidote peu dichroïque, calcite, mica, rutile.

Ces roches sont souvent divisées en colonnes, subdivisées quelquefois elles-mêmes en boules. Elles paraissent avoir transformé en marbres les calcaires de Saint-Béat; leur influence métamorphique a enrichi en espèces minérales les marnes gypseuses du trias; mais quelques-unes paraissent aujourd'hui contemporaines des derniers grands mouvements de la chaîne pyrénéenne, c'est-à-dire des derniers jours du nummulithiqne. En Algérie, les ophites sont tertiaires.

Dolérites. — Ce nom a été donné par Haüy aux roches composées de feldspaths et de pyroxène. Ce sont des diabases récentes, tertiaires ou postertiaires : elles offrent les caractères des diabases grenues.

Éléments essentiels : *augite* et *feldspaths alcalino-terreux.*

Ceux-ci appartiennent, en général, au labrador. Ceux de labrador et d'augite sont généralement entrelacés.

Le pyroxène contient des inclusions microlithiques et passe à la diallage.

Il y a souvent un peu de matière vitreuse. La structure est ordinairement ophitique.

Éléments accessoires : *fer titané*, plus abondant que la *magnétite*, en grains, en octoèdres, souvent accompagnés d'une matière grisâtre ou rougeâtre, faiblement translucide, que Gümbel a appelé *leucoxène* et que les uns regardent comme de l'acide titanique, les autres comme du sphène.

Chlorite. — Une matière chloriteuse s'interpose dans les fentes du feldspath, qui se retrouve dans la masse; c'est un produit de décomposition.

Éléments accidentel : *néphéline*, *anorthite*, *analcine* en cubo-trapézoèdres, souvent limpides, *mélanite* en rhombododécaèdres noirs ; *mica magnésien*, *pyrite*, etc.

Dolérites à olivines. — Aux éléments essentiels des dolérites s'ajoute le péridot en cristaux cassés, plus ou moins altérés.

On doit distinguer, suivant la nature du feldspath, les dolérites andésitiques, labradoriques et anorthiques (fig. 306).

Teschénite. — Roche grenue, ancienne, formée de cristaux de feldspaths alcalino terreux enveloppés d'éléolithe, d'amphibole et d'augite, avec chlorite et calcaires accessoirement : sphène et mica.

Type porphyroïde

Mélaphyres ; labradorites à augite et basaltes. — Lorsque les éléments des diabases ou des dolérites présentent le type porphyroïde ou microlithique, les roches auxquelles ils donnent lieu ont reçu bien des noms et coûté de bien nombreuses recherches aux géologues et petrographes les plus éminents. Au moyen âge on a nommé *trapps* des masses minérales éruptives, de facies homogène, où l'on ne distingue aucun élément isolé de pêle-mêle général, qui ne montrent des individus reconnaissables qu'au contact des roches encaissantes et qui, après avoir souvent injecté, autour des grandes crevasses qu'elles ont remplies en forme de



Fig. 306. — DOLÉRITE LABRADORIQUE D'OVIFAK (GRŒLAND).
(*Page 554*)
Grossissement = 21 *diamètres. Lumière polarisée, nicols à* 45°.

Cette roche perce et disloque des couches miocènes riches en lignite. Le dessin représente les minéraux suivants :

I. Spinelle (27), fer oxydulé en inclusions dans le labrador, labrador (7).

II. — Labrador (7), augite en microlithes globuleux (20).

III. — Serpentine (viridite) (39), fer natif F.

La présence du fer natif dans la roche a été décelée par un dépôt de cuivre obtenu en faisant réagir sur la plaque décapée une goutte de dissolution de sulfate de cuivre.

La roche est un passage des dolérites aux basaltes. Elle s'éloigne de ces derniers par la rareté de l'olivine, la grande taille de ses microlithes et l'absence de matière amorphe. M. Lawrence Smith a étudié cette dolérite en détail au point de vue minéralogique et chimique. (1879. *An. de Chimie et de Phar.*, XVI, 452). M. Tœrnebohm en avait préalablement donné une description microscopique complète.

(*D'après MM.* FOUQUÉ *et* MICHEL-LÉVY, *Pl.* XXXVI, *fig.* 2.)

dykes, les roches qu'elles traversaient, sont venues étaler à la surface du sol leurs coulées successives en nappes de moins en moins étendues, semblables, en quelque sorte, à des escaliers gigantesques. Les trapps noirs ou d'un vert foncé ont été appelés *grünsteins* par Werner. Haüy appelait *aphanites* « des associations d'amphibole compacte et de feldspath fondus imperceptiblement l'un dans l'autre, ayant une apparence homogène avec une couleur noirâtre », et il y distinguait plusieurs variétés, parmi lesquelles l'**aphanite commun**, ou trapp de Dolomieu et le **porphyrique**, vulgairement *ophite* ou *serpentin*, *porphyre vert* des anciens.

Brongniart, en 1813, a donné le nom de mélaphyre à des porphyres « dont la pâte noire faite d'amphiboles pétrosiliceuses enveloppe des cristaux de feldspath »; c'était donc aussi des porphyres amphyboliques qu'il appelait *mélaphyres*. Sa définition avait cela d'heureux qu'elle établissait le passage entre les trapps et les porphyres quartzifères visiblement cristallins, au moins à de faibles grossissements. Aussi a-t-on, en laissant le nom d'aphanites aux trapps amphiboliques, conservé celui de mélaphyres aux augitiques. Cordier appelait ceux-ci *ophites*, puisque ce nom existait déjà au moins pour l'un des plus importants de ces porphyres, que Pline appelait le *marbre lacédémonien*, le plus gai de tous, et, plus tard, les Italiens, *porfiro verde antico*.

Aujourd'hui, le nom d'ophite, en tant que synonyme du porphyre vert antique, est abandonné.

Voyons, maintenant, dans quel sens on a employé le mot basalte.

Pline a désigné par un mot qu'on a écrit basalte, jusqu'à ces derniers temps *basaltes*, une pierre que les Éthiopiens appelaient ainsi à cause de sa couleur et de sa dùreté de fer. Les érudits ont répété pendant le moyen âge que le mot basalte venait d'un mot éthiopien, basal, qui signifiait fer. Au milieu du XIV[e] siècle, dans son traité *De natura fossilium*, Agricola rapporte au basalte

de Pline les roches dures de Misnie, en Saxe. En 1565, Conrad Gesner (De omni rerum fossilium, in genere: Tiguri) nous transmet une lettre de son ami, Johannes Kentmann, qui montre en effet la grande analogie des roches noires de Misnie, à formes primatiques et des basaltes de Pline, mais, en supposant une altération du texte, lequel aurait porté *basanites* et non *basaltes*; cette correction a été adoptée par M. Littré dans sa traduction de Pline, y a-t-il eu erreur des copistes ? Bepp, Benfey et Christ ont comparé le mot grec *basanes* au mot sanskrit *pashanas*, tous les deux ayant le sens de pierre de touche, et Benfey en a rapproché le mot hébreu bâshan, qui veut dire pays du basalte (voy. Curtius, *Fondements des étymologies grecques*).

Quoi qu'il en soit, le mot de basalte a traversé tout le moyen âge et la science moderne l'a consacré. Mais le basalte antique est un porphyre syénitique. Cordier a montré le premier que la roche appelée *basalte* au commencement de ce siècle est composée de pyroxène augite (1/4 à 1/3 de la masse), de fer titané (5 à 15 o/o) et de labrador pour le reste, les trois éléments formant une pâte qu'on ne peut analyser qu'au microscope.

Haüy définissait ainsi le *basalte* :

« Aspect âpre, couleur tirant au noir, surface mate... On l'a regardé comme composé d'amphibole; mais, d'après les recherches intéressantes de M. Cordier, le fond de cette roche est le pyroxène. »

On y reconnaissait, dès cette époque, les grains de péridot, comme un des éléments accidentels importants. M. Rosenbusch, auquel on doit tant de recherches importantes sur la composition des roches, ne regarde comme basaltes que ceux qui comprennent le péridot parmi leurs éléments essentiels; les autres sont classés parmi les porphyres que MM. Fouqué et Michel Lévy ont appelé : *andésites* ou *labradorites augitiques*.

En sorte que la classification la plus usuelle en ce moment est la suivante :

Roches composées d'éléments microlithiques d'augite et de

feldspaths alcalino-terreux, enveloppant ou non des cristaux de feldspaths et d'augite.

prétertiaires (ou anciennes)	sans péridot : *Porphyrites à augite.* avec péridot : *Mélaphyres.*
tertiaires ou post-tertiaires (ou modernes)	sans péridot : *Andésites à pyroxène, labradorites à pyroxène, anorthites.* avec péridot : *Basaltes feldspathiques.*

Bien qu'il soit le plus souvent difficile de distinguer au moins minéralogiquement les prétertiaires des modernes, nous conserverons ces distinctions traditionnelles ; car les géologues répugneront longtemps à confondre sous le même nom des roches qui sont arrivées au jour à des époques si différentes.

Les descriptions feront voir jusqu'à quel point les mêmes causes et les mêmes effets ont produit des différences de structure et de considération.

Porphyrites augitiques. — Ce sont des roches éruptives, antérieures aux terrains tertiaires, noires ou d'un vert plus ou moins foncé dans l'ensemble.

Éléments essentiels visibles à l'œil nu ou à la loupe. — Cristaux de **feldspath** ou d'**augite**, ou de feldspath et d'augite ; pâte fine, faite de microlithes de feldspaths alcalino-terreux et d'augite avec **magnétite**, en plus ou moins grande quantité, quelquefois globulitique. Les diabases augitiques du carbonifère et du permien sont plus riches en substance vitreuse que les plus anciennes. Le feldspath, d'un blanc jaunâtre, ou d'un vert clair, coloré par une matière chlorifique ou épidotique, y est allongé suivant l'arête verticale. Le plus souvent ce feldspath est du labrador; quelquefois pourtant, il devient plus basique et se rapproche de l'anorthite, donnant lieu à la formation de *porphyrite anorthique*.

L'augite est souvent ouralitisée.

Ordinairement la roche est imprégnée de chlorite qui la colore en vert. Elle fait effervescence dans l'acide chlorhydrique et y devient jaunâtre. Au chalumeau elle perd de l'eau, prend une teinte

plus claire, et fond plus ou moins facilement en une perle d'un vert bouteille.

La densité varie de 2,7 à 3. Elle est en moyenne supérieure à 2,8.

Minéraux accidentels : *magnétite et fer titané, pyrites*; *quartz* et ses variétés : *améthyste, œil-de-chat, calcédoine*, disséminés, non pas d'une manière homogène, mais toujours çà et là, en petites masses cristallines ou concrétionnées; *épidote, axinite, terre verte, hornblende, mica*. On y reconnaît souvent en cristaux séparés de la pâte l'*enstatite* et la *bastite*, l'ilménite et l'isérine, de la chlorite, de l'épidote, du calcaire, quelquefois du quartz, de la trydimite.

Mélaphyre de Rosenbusch : Le fond de la roche est d'un gris noirâtre, d'un noir verdâtre, quand il est frais, brun ou jaunâtre quand il est altéré. La pâte en est souvent vitreuse et même globulitique; on y observe la structure fluïdale, quand elle devient dans la roche un élément abondant. Elle englobe de l'olivine à belles inclusions vitreuses, de l'augite, de la bastite dichroïque, du mica magnésien et le feldspath qui lui donne sa structure.

Les mélaphyres et porphyrites tendent à la texture vacuolaire, et leurs vacuoles sont remplies en général d'amandes de différentes variétés de quartz, mêlées de terre verte, tandis que les roches basaltiques, lorsqu'elles prennent la même texture, renferment des zéolithes. Ils se distinguent des porphyres amphiboliques par les transformations en chlorite, en serpentine, de leur augite, qui offre rarement des formes cristallines bien nettes.

Variétés de composition générale :

1° *Mélaphyres* dont la teneur en silice est inférieure à celle du labrador (53 o/o). Un grand nombre des M. de Norvège (48,76 o/o, d'après Kjerulf); M. de la vallée de Fassa, Tyrol (45,65 o/o, densité 2,71, d'après Streng).

2° *Mélaphyres sursilicés*, dont la teneur en silice est supérieure à 53 o/o. Certains plagiophyres des environs de Christiania (58,5 o/o, d'après Kjerulf); Ex.: M. du flanc gauche de Mühlenthal (57 o/o);

M. amygdalaire de Faucogney, Haute-Saône (54.42 o/o, densité : 2,906, d'après Delesse); M. noir d'Elbingerode, Hartz (57 à 58 o/o).

Mais la roche de la vallée de Fassa est composée d'éléments cristallisés distincts au moins à de forts grossissements et doit être classée parmi les *diabases*. Les porphyrites contiennent une substance non individualisée à laquelle on peut attribuer l'excès de silice.

On doit à MM. F. Zirkel et G. Haarmann l'analyse microscopique d'un grand nombre de ces roches (1).

La matière adélogène forme un magma proprement dit, abondamment développé ou seulement épars entre les éléments cristallins, tantôt vitreux, tantôt dévitrifié en partie ou totalement.

On observe un verre pur renfermant des bandelettes d'augite et de magnétite dans le M. de Campitello, vallée de Fassa. En général, le verre est plus ou moins riche en grains foncés (Saint-Wendel; roche à éclat gras, contenant de l'olivine), en petites aiguilles et en crystallites à forme de coins (M. d'Ilmenau; toadstone en couches dans le calcaire de montagne entre Lomberdale et Middleton, Derbyshire). Quelquefois le verre se trouve remplacé par une matière d'un vert sale, amorphe, qui en paraît une transformation, et qu'on distingue difficilement de l'augite et de l'olivine. Des fibres radiées de cette matière forment une mosaïque dans le P. de Sulzbach.

Outre les plagioclases, Tschermak a découvert de l'orthose dans les M. du Tyrol méridional.

L'augite ne se présente guère qu'en grains ou en prismes mal conformés, quelquefois transformés en agrégats de terre verte. L'olivine est également en grains frais ou altérés (mélaphyre appelé toadstone du district carbonifère des comtés de Strafford, de Shrop, de Leicester et de Derby).

C'est à ces roches renfermant de l'olivine que Rosenbusch a

(1) F. Zirkel, *Untersuchungen über Basaltgesteine*, Bonn, 1869. — G. Haarmann, *Inaugural Dissertation*. Leipzig, 1872.

réservé le nom de mélaphyres, appelant *porphyrites* celles qui n'en contiennent pas.

L'augite entre dans les porphyrites en proportions très variables :

1° *P. pauvres en augite* (*labradorporphyr*). Pâte gris verdâtre, ou noirâtre, souvent imprégnée de calcaire, assez difficilement fusible. Cristaux souvent très gros de labrador. Exemples : *Porphyre de Belfahy*, Vosges, à pâte d'un vert plus ou moins foncé, magnétique (53,45 o/o de silice 75 o/o de labrador; teneur en eau : 2,5; densité : 2,775. L'acide chlorhydrique en dissout en deux jours le 1/5 à froid, le 1/3 à chaud, d'après M. Delesse) ; *porphyre vert antique* à pâte d'un vert olive; certains plagiophyres des environs de Christiana.

2° *P. riches en augite*. Pâte noire. Ex. : du mont Mulatto, près Predazzo, Tyrol ; P. de la vallée de Fassa, à grands cristaux d'augite, à labrador strié, nacré (*Mélaphyres basiques ou augitiques de M. de Lapparent*) ; P. de Norvège à pâte bleue.

3° *P. à Ouralite* (*Uralitporphyr*). Pâte gris verdâtre ou vert noirâtre, avec cristaux d'un noir verdâtre ou brunâtre d'Ouralite (environs de Iekatharinenbourg, et Miass, dans l'Oural).

Parmi les porphyrites à pyroxène, on doit évidemment distinguer les uns des autres, quand les roches n'ont qu'un seul feldspath alcalino-terreux, oligoclase, labrador ou anorthite : les *porphyrites andésitiques, labradoriques, anorthiques à pyroxène*.

Rétinites des mélaphyres. — Masses vitreuses, opaques, renfermant des cristaux de plagioclase, olivine, augite et magnétite. (Voy. fig. 301 et 302, page 538).

Tufs des porphyrites et mélaphyres. — Masse d'un vert gris ou noirâtre, terreuse, formant une espèce de boue qui empâte des fragments de porphyrite, anguleux dans les brèches, arrondis dans les conglomérats. Ils forment des couches dans le terrain devonien, aux environs des roches qui leur ont fourni leurs éléments.

Brèches de froissement. — Dans les régions porphyritiques, on rencontre des roches formées d'une pâte de porphyrite, englobant des fragments anguleux de même composition, mêlés de

morceaux de micaschistes de calcaire, traversés par la masse éruptive. Quelquefois, les morceaux de porphyre sont empâtés dans un magma identique, comme si une partie de la roche consolidée en avait agglutiné d'autres, déjà solides, mais brisées par des actions mécaniques.

Spilites. — L'on comprend sous ce nom des variétés de roches trappéennes, basaltes et dolérites, ophitones, qui doivent l'analogie de leur facies à leur structure amygdalaire.

Spilites des porphyrites et mélaphyres. — Elles sont criblées de vacuoles ellipsoïdales de quelques millimètres de longueur, qui sont presque toujours remplies par des nodules en partie terreux, en partie cristallins, que l'on a comparés à des amandes. Ces nodules se composent de terre verte (*Delessite*), de calcaire et quelquefois de calcédoine. La pâte du porphyre qui leur sert de noyau a souvent subi un commencement d'altération, comme l'indiquent sa couleur devenue brunâtre ou rougeâtre et son odeur argileuse.

Dans les porphyrites augitiques d'Oberstein et d'Idar, sur les bords de la Nahe, dans l'Oldenbourg; dans ceux des carrières de Salto, près de Montevideo, Uruguay, les cavités deviennent souvent plus grosses que la tête, et leurs parois se recouvrent de ces belles incrustations d'agate et d'améthyste si recherchées pour la joaillerie. Dans certains nodules d'agate, l'on reconnaît le canal par où s'est infiltrée la matière siliceuse.

Les zéolithes, si communes dans les cavités des basaltes, sont rares et très peu nombreuses dans celles des plagiophyres.

Les mélaphyres et les porphyrites, la diabase et leurs spilites sont des roches éruptives, qui remplissent de grandes fentes de l'écorce terrestre. Souvent ces roches se sont introduites latéralement entre les couches des terrains qu'elles traversaient, comme si elles en étaient contemporaines; mais, après avoir émis toutes ces branches d'intrusion dans plusieurs étages successifs, le tronc principal a surgi au dehors, et s'y est répandu en nappes sur le sol. Dans le Derbyshire, où elles sont appelées *Toadstone,* on les

voit ainsi injectées entre les strates du calcaire carbonifère et du millstonegreat. Si les roches encaissantes ont disparu, la masse éruptive se dresse en énormes murailles. Souvent plusieurs nappes issues du même centre d'éruption se trouvent superposées en retrait les unes sur les autres, comme il a été dit plus haut, ce qui les a fait appeler *Trapps* dans le nord de l'Europe.

Leurs éruptions datent des premiers temps du précambrien (porphyrites de Jersey, des environs de Paimpol ; P. quartzifères de Lessines, en Brabant, P. et diabases de la région du cuivre, au lac Supérieur, en Amérique ; mélaphyres des schistes du Beaujolais, en France. Elles se sont continuées dans le cambrien, en Écosse ; dans le silurien (mélaphyres du Harz et de la Norwège); dans le dévonien, en Écosse et aux environs de Miass, Oural ; dans le carbonifère, en Écosse et en Angleterre (mélaphyres et porphyrites micacés) ; dans le permien, en Saxe (nappes de mélaphyre intercalées entre les couches de grès rouge, au Riesengebirge); dans le pays de Mansfeld, couches formées de bombes mélaphyriques ; au sud du Hunsruck (mélaphyres amygdaloïdes), dans le Morvan et l'Esterel, France ; dans le muschelkalk du Tyrol méridional ; dans le lias inférieur alpin (porphyrites avec spilites). Enfin, des coulées de tufs de diabases et de porphyrites ont pénétré partout le crétacé, sur la côte occidentale de la chaîne des Andes.

On les rencontre aussi en filons dans des fentes plus étroites. Dans le Hartz, aux environs d'Ilfeld, leurs cavités deviennent souvent plus grosses que la tête, et leurs parois se recouvrent d'incrustations d'agate et d'améthyste. Dans certains nodules d'agate, l'on reconnaît le canal par où s'est infiltrée la matière siliceuse.

Wackes. — On y observe une pâte vésiculaire, ordinairement verte ou brune, d'aspect terreux, qui renferme souvent des cristaux de feldspath, d'augite. Ce sont des mélaphyres décomposés, quelquefois sur de grandes étendues.

Teschénite. — Roche grenue, parfois porphyroïde, composée d'un **feldspath riche en chaux**, fortement attaquable par les

acides, voisin de l'anorthite, associé à de l'**analcime** en grains blancs et opaques et à des matières provenant d'altérations, *chlorite, épidote, calcaire.*

Accessoirement : *biotite, apatite, magnétite titanifère.*

La présence fréquente d'augite ou de hornblende dans ces roches en fait des intermédiaires entre les diabases et les diorites ; elles en diffèrent par leur grande teneur en analcimes. Elles traversent le crétacé dans la Silésie autrichienne.

ROCHES AUGITIQUES A FELDSPATH CALCOSODIQUE RÉCENTES.

Andésites à pyroxène (*Trachyandésites à pyroxène*). — Andésites renfermant de l'augite (*augit-andésite*, Zirkel. L'augite s'y manifeste ordinairement en cristaux en grains visibles. Le plagioclase dominant est voisin de l'oligoclase dans les andésites proprement dites. Eléments accessoires : *hornblende; magnétite.* La densité de ces roches est d'environ 2,8. Elle s'abaisse à 2,7 lorsque leur teneur en silice atteint environ 64 o/o : *augit-andésites avec quartz*, de Zirkel.

Ex. trachytes des Andes, pic de Ténériffe ; Hékla, Islande (1).

Au microscope l'augite verte, ou brune, forme des grains ou des prismes courts à sommets terminés par le dôme caractéristique ou quelquefois par des faces de pyramides surbaissées ; ils offrent des clivages nets et souvent un plan de séparation transversal ; ils sont remarquables par leur dichroïsme lorsqu'on les tourne sur eux-mêmes entre des nicols en croix ; ils ressemblent alors à de l'amphibole. Ils sont accompagnés quelquefois d'hypersthène, de couleur plus claire, et ordinairement de produits de décomposition : terre verte, opale, épidote.

Accessoirement : magnétite, zircon, pseudobrookite (Puy de Pariou, etc., Auvergne), hyalite, tridymite (San Cristobal), et d'autres minéraux postérieurs à ceux de première consolidation.

(1) Voy. Damour, *Bull. Soc. géol. de France*, t. XII, p. 85

Dans un grand nombre de ces roches on observe une masse vitreuse disséminée en bandelettes fines ou empâtant des microlithes de feldspath et d'augite (Santorin). Certaines variétés passent à l'obsidienne. La fig. 307 montre un nodule de wollastonite et la fig. 308 la wollastonite dans un calcaire épigénisé par la lave de Santorin.

A San Cristobal, à l'Itora, à Volvic, la pâte, raboteuse au toucher, est riche en cristaux qui tapissent les parois de ses cavités et de ses fentes.

Tschermak a vu dans une andésite de l'Ebrus, Caucase, des grains de quartz qu'il regarde comme contemporains de l'éruption.

Les andésites à augite appartiennent à la série trachytique et sont au plus tertiaires.

Au Mont-Dore, leur éruption est postérieure à celle des trachytes à sanidine.

Labradorites à pyroxène (fig. 30x, 310, 311). — Roches ayant comme les précédentes la structure microlithique; elles n'en diffèrent que par la substitution du labrador à l'andésine.

Anorthites à pyroxène. — Ce sont encore des roches analogues où le plagioclase dominant est l'anorthite.

Téphrites. — Roches composées de plagioclases, d'augites et de néphéline, à texture analogue, tantôt à celle des dolérites, tantôt à celles des porphyres. Un magma, formé de microlithes, ou d'agrégats de néphéline et de microlithes d'augite et de feldspaths calcosidiques y empâte des cristaux ou des grains cristallins de première consolidation : labrador, augite, magnétique et accessoirement néphéline, haüyne, apatite, sphène et fer titané (fig. 312).



Fig. 312. — Clivages parallèles à la direction verticale dans l'augite de la téphrite de Neulinden, Kaiserstbal.



Fig. 307. — NODULE A WOLLASTONITE DE SANTORIN.
(Page 564)

Grossissement = 126 *diamètres. Lumière polarisée, nicols à* 45°.

Fassaïte (20), grenat mélanite (25), wollastonite (47), minéral cubique probablement du groupe de l'haüyne (8).

(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY*, Minéralogie micrographique. — *Atlas, Pl. XXXV, fig. 6.*)

PL. XIV



Fig. 308. — CRISTAUX DE WOLLASTONITE ET DE FASSAÏTE EXRAITS D'UN BLOC CALCAIRE ÉPIGÉNISÉ PAR LES LAVES DE SANTORIN.

(*Page 564.*)

Grossissement = 56 *diamètres. Lumière polarisée, nicols ayant leurs sections principales à* 45°.

La wollastonite (47), la fassaïte (20) et le grenat mélanite (25) sont accompagnés d'un minéral cubique probablement du groupe de l'haüyne.

(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY,* Minéralogie micrographique. — *Atlas Pl. XXXV, fig.* 2.)



Fig. 309. — LABRADORITE AUGITIQUE DE LA FALAISE SEPTENTRIONALE DE THÉRA, SANTORIN.

Grossissement = 56 *diamètres. Lumière polarisée, nicols croisés.*

Le dessin représente les minéraux suivants :
I. — Fer oxydulé, olivine (23), augite (20), anorthite (8).
II. — Microlithes de labrador (7), d'augite (20).
Le péridot étant rare dans cette roche, M. Fouqué a cru devoir en faire une labradorite plutôt qu'un basalte.

(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY,* Minéralogie micrographique. — *Atlas, Pl. XXXV, fig. 1.*)



Fig. 310. — ÉCHANTILLON PRIS A LA SURFACE DE LA LABRADORITE DE L'ILOT DE L'OBÉLISQUE (SANTORIN).

(Page 564)

Grossissement = 56 diamètres. Lumière polarisée, nicols croisés.

Le dessin montre les minéraux suivants :

I. — Augite (20).

II. — Labrador en microlithes non maclés.

III. — Opale en sphérolithes à croix noire.

(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY*, Minéralogie micrographique. — *Atlas, Pl. XXXV, fig. 5.*)



Fig. 311. — LABRADORITE A LABRADOR ET A PYROXENE DE L'UN DES ILOTS DE L'OBÉLISQUE (COTE MÉRIDIONALE DE SANTORIN).
(Page 564)

Grossissement = 84 diamètres. Lumière polarisée, nicols croisés.

Cette roche se rattache à une coulée de labradorite riche en microlithes, qui s'observe dans la partie méridionale de l'île et qui a percé les andésites à hornblende de la région.

Le dessin représente les minéraux suivants :

I. — Fer oxydulé, augite (20), labrador (7).

II. — Matière amorphe riche en globulites et en granules de fer oxydulé.

III. — Chlorite (37) entourée d'une couronne de petits cristaux et épigénisant un minéral non déterminé.

(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY,* Minéralogie micrographique. — *Atlas, Pl. XXXIII, fig. 2.*)

PLANCHE E



Dyke de basalte, traversant les grès et les argiles (comté d'Arran, Écosse):

Vis-à-vis la page 565.

PLANCHE F



Colonnades de basalte, Pettycur, comté de Fife (Écosse).

Photo du Geological Survey.

Vis-à-vis la page 565.

Leucotéphrite. — Roche analogue, mais toujours porphyroïde, où la leucite, accompagnant l'haüyne, l'emporte en abondance sur la néphéline.

La néphéline est assez souvent cristallisée ; mais la leucite, isotrope dans ces roches, ne fait guère que remplir les interstices des minéraux de première consolidation.

L'augite (fig. 315) s'y trouve en prismes aciculaires, microlithiques, polychroïques. La hornblende et la biotite n'y sont que des éléments accessoires.

Dans certaines téphrites abondent l'**haüyne** et la **nosiane.** Silice : de 45 à 57 o/o (fig. 312).

Basaltes. — Masses éruptives, tertiaires ou posttertiaires, d'un noir bleuâtre ou grisâtre, généralement mub, homogènes, tenaces, ayant formé des coulées à la manière des laves et composées : 1° d'éléments cristallins, parmi lesquels on distingue : **feldspath alcalinoterreux**, (**péridot**), **augite** et **magnétite** en cristaux qu'on ne peut en général, distinguer qu'à la loupe ou au microscope ; et 2° d'éléments irrésolubles, même au microscope, confondus en une pâte vitreuse.

Ils sont plus durs que l'acier, plus ou moins poreux et plus ou moins magnétiques. Leur dureté est de 2,9 à 3,1.

Dans l'acide chlorhydrique, ils sont très inégalement attaquables. La partie dissoute varie de 36 à 88. En moyenne, d'après les analyses de Bischof (*Lehrbuch der Geologie*), II, p. 693), ils contiennent 44 de silice avec des écarts de 10 o/o en plus ou en moins, 12 d'alumine, 11 de chaux, 7 de magnésie. Les oxydes de fer y varient dans la proportion de 3 à 25 o/o, l'eau de o à 6, le titane de o à 3, la soude de 2 à 16. Mais il faut tenir compte de ce fait que les basaltes contiennent des quantités très différentes de minéraux sodifères.

Caractères microscopiques. — *a.* Éléments distincts essentiels.

Feldspath, en lamelles suivant la loi de l'Albite, formant des bandelettes longitudinales, parallèles, alternativement bleues ou grises, ou colorées de nuances vives en lumière polarisée ; Zirkel

a fait remarquer qu'il n'est pas attaqué par les acides. Plusieurs observateurs y voient un mélange de lamelles feldspaths alcalino-terreux, où le labrador paraît dominer.

Augite, souvent en gros cristaux de la forme $pmh^1\ g^1\ b^1/^2$, groupés suivant h^1, d'un brun rouge, ou jaunâtre, plus rarement verts. Ces cristaux deviennent presque incolores en lames minces. Ils sont peu dichroïques, leurs contours sont des parallélogrammes, des hexagones, des irréguliers, des octogones ayant ordinairement deux côtés longs et quatre courts; ils contiennent des inclusions solides, formées d'apatite, de magnétite, des fluides.

Péridot, souvent en grains irréguliers avec inclusions de picotite. Ses clivages, les grains de picotite qu'il renferme, sa surface d'apparence chagrinée, lorsqu'on élève ou qu'on abaisse brusquement le condensateur du microscope, les rendent faciles à recon-

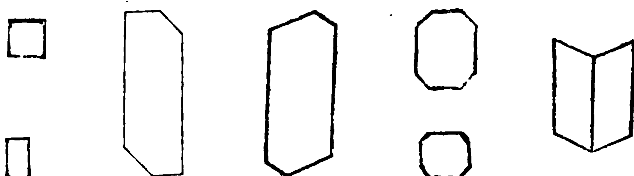


Fig. 312 à 315. — Diverses sections d'augite, dont l'une montre le groupement de deux cristaux accolés suivant h^1 avec hémitropie.

naître. Ils passent fréquemment à des matières serpentineuses. Éléments indistincts : on y observe en plus ou moins grande abondance une substance vitreuse répandue entre les éléments cristallins. Celle-ci, d'après les nombreuses observations de M. Zirkel, ressemble à un verre homogène d'un brun jaune, lorsqu'elle est pure ; en général elle renferme des grains plus foncés en couleur et des aiguilles cristallines, noires ou d'un noir brunâtre, terminées soit en pointes, soit en massue et groupées en réseau. Cette matière restée vitreuse, ou rendue à demi cristalline par les éléments qui s'en séparent, peut former jusqu'à la moitié de la masse. Dans la lave de Beaulieu, en Auvergne, dans celle de l'éruption de

l'Hékla (Islande), en 1845, on ne trouve plus ce verre, assez riche en petits grains foncés, que pincé sous forme de coins entre les éléments cristallisés de la roche. La masse vitreuse offre la même disposition en coins; mais elle renferme des trichites aciculaires en même temps que des grains étrangers aux éléments cristallisés, labrador et augite, dans la plupart des basaltes appelés anamésites du nord de l'Europe, Islande, îles Faroë, Écosse, Hébrides, Groënland.

c. Éléments distincts accidentels.

Hornblende. On la rencontre quelquefois en gros cristaux ordinairement dichroïques; on la distingue aisément de l'augite à ses clivages qui font entre eux un angle de 124° environ; *néphéline, amphigène* (Voy. leurs caractères à néphélinite, amphigénite). *Fer titané, sphène, apatite* en prismes hexagonaux allongés, déliés, incolores ou violacés; *carbonates de fer et de chaux, aragonite, mica brun foncé, zircon* (*Hyacinthe*) *cordiérite, grenats, pyrite,* zéolithes, calcédoine, *wollastonite.*

Fer natif. — Découvert par Andrews dans le basalte du comté d'Antrim, Irlande, il a été retrouvé par Reuss dans les basaltes de Bohême. Il échappe aux investigations microscopiques, parce qu'on ne sait pas le distinguer de la magnétite, opaque et isotrope comme lui; mais on en constate chimiquement la présence dans un certain nombre de basaltes en broyant la roche dans un mortier de porcelaine. Une dissolution de sulfate de cuivre dépose du cuivre métallique qu'on reconnaît aisément (voy. fig. 306, à *dolérite*).

On sait que le basalte d'Ovifak près du fjord de Disco, côte du Groënland, renferme des masses considérables de fer natif, qu'on retrouve en plus petits fragments dans les roches basaltiques de cette île.

Variétés : *Basalte commun.*

B. amygdaloïde, à grandes cavités où l'on collectionne la plupart des beaux cristaux de zéolithes, avec calcédoine, carbonates de chaux et de fer, etc.

Tachylyte (*Gallinace* de Cordier, *basalte vitreux*). — Masses

vitreuses ou demi-vitreuses, à facies résinoïde, quelquefois un peu gras, d'un noir de poix, bleuâtre ou brunâtre; elles sont décomposées par l'acide chlorhydrique avec séparation de silice gélatineuse; elles contiennent 7 à 8 o/o de chaux et de petites proportions d'eau. Breithaupt avait donné ce nom de tachylite à une matière de Salsebrüll, près Dransfeld, qui est rapidement décomposée par les acides.

Dans celle-ci on observe au milieu de la masse vitreuse des cristaux, visibles quelquefois à l'œil nu, mais généralement microlithiques, d'augite, de néphéline, de magnétite surtout, et comme produits de dévitrification, des microlithes prismatiques, aciculaires, groupés en gerbes, en barbes de plumes, en étoiles.

La tachylite de Bobenhausen, Vogelsgeberg, est définie par M. Zirkel comme un verre brun foncé renfermant une grande quantité de grains sombres, à bords déchiquetés, entourés d'une auréole plus claire, visibles à la loupe et se décomposant à des grossissements plus considérables en granules infiniment petits, ronds ou aciculaires. Ces granules, en se réunissant, dessinent dans la pâte vitreuse des petites masses noires, hérissées d'aiguilles, ou d'espèces de petites frondes de fougères qui sont quelquefois enroulées sur elles-mêmes, ou qui émettent un appendice également composé de granules, ressemblant dans ce cas à une fleur sur sa tige, et qui enfin se trouvent agglomérées en nombre considérable au milieu de régions plus claires que le reste de la masse auxquelles elles ont enlevé le fer qui les colore.

Cette matière forme des salbandes entre le basalte proprement dit et les roches encaissantes. Elle paraît constituer aussi le fond des *laves basaltiques*.

Quelques gallinaces paraissent se rapprocher de l'*hyalomélane* de Hausmann, matière vitreuse peu soluble dans les acides et contenant 57 o/o de silice, du fer, de la chaux, de la magnésie, et de 1 à 2 o/o d'eau.

L'hyalomélane établit le passage entre la tachylite et la matière compacte ou scoriacée, insoluble dans les acides, appelée par

M. Rosenbusch, *augite compacte* ou *scoriacée*, qu'on rencontre dans le basalte d'Ostheim Wetterhau, en petites masses irrégulières, vitreuses, vertes en lumière réfléchie, brunes en lumière transmise, altérables et mêlées d'argile qui provient de leur décomposition.

Scories volcaniques. — La croûte extérieure des coulées et leur nappe inférieure, ont souvent une texture scoriacée ou poreuse, homogène ou porphyroïde et plus ou moins vitreuse. Les scories sont des blocs rejetés lors de l'éruption. Elles ont les formes les plus variées : contournées, cloisonnées, etc. Souvent, animées d'un mouvement rotatoire, en vertu de la force centrifuge, elles ont acquis, en décrivant leur trajectoire dans l'espace, la forme d'ellipsoïdes, dont le grand axe a des extrémités tordues (*bombes volcaniques*). Elles sont ordinairement rouges extérieurement, pleines ou creuses, riches en péridot, qui leur donne leur coloration rouge, étant lui-même altéré, quelquefois en feldspathoïdes.

Lapilli. — Scories en fragments plus petits, tombées comme une pluie de pierrailles autour des cratères, dont elles forment ordinairement les parois.

Cinérites. — *Cendres volcaniques*, projetées aussi par les cratères, autour desquels elles retombent en donnant lieu aux cônes successifs des volcans étagés les uns sur les autres au fur et à mesure des différentes éruptions, lorsqu'elles ne sont pas emportées par le vent, quelquefois à d'énormes distances, sous forme de poussière impalpable. Des cendres volcaniques ont englouti, comme on sait, Pompéï, en l'an 79.

Les cendres de l'éruption de novembre 1843, à Catane, Etna, étaient d'un gris clair, et renfermaient 46,31 °/₀ de silice; 16,85 d'alumine; 9,85 de peroxyde de fer; 4,43 de fer oxydulé; 10,28 de chaux; 5,44 de magnésie; 1,41 de potasse; 3,34 de soude, et en outre 2,21 d'acide sulfurique; 0,52 de chlorydrate d'ammoniaque et de gypse, d'après l'analyse de Von Waltershausen.

Il n'y a pas de différence minéralogique essentielle entre ces poussières que lancent les volcans et la lave qui en coule pendant

la même éruption; mais la structure des laves est très différente de celle des cendres.

M. Zirkel (1) a observé comme différences essentielles à ce point de vue, dans les sables de l'Etna, qui sont composés de feldspath, d'augite, de magnétite et d'éclats de verre, le nombre infini des inclusions vitreuses et des microlithes libres renfermés dans les cristaux intacts ou brisés, le nombre également considérable des éclats de substances vitreuses mêlées à celles qui ont cristallisé, celui des pores produits par des dégagements de gaz et de vapeurs que contenaient les éléments cristallins ou vitreux et celui, enfin, des agrégats formés par les microlithes. Parmi les microlithes des cendres projetées par le Vésuve en 1861, dominait l'augite. Dans les cendres de l'Etna et de l'Hékla, il en est de même; mais on y voit aussi beaucoup de magnétite. Dans des sables volcaniques se rencontrent de la magnétite, du mica en petites lamelles, des grains d'Haüyne, etc.

On pense que la masse en fusion contenait déjà des microlithes cristallisés avant sa projection.

Dans les scories lancées par le volcan de Gravenoire (Puy-de-Dôme), on trouve du fer oligiste, du fer titané.

Pépérites. — Ce sont des cendres volcaniques agglutinées et contenant des cristaux de hornblende et de mica noir. Aux pépérites se rattachent les *tufs basaltiques* à fragments de basaltes cimentés par du calcaire et des zéolithes, les *pépérino*, sortes de tufs à cristaux d'augite, le mica, etc. Elles sont en général miocènes.

Les scories, lapilli, cendres basaltiques plus ou moins décomposées, souvent rougeâtres, fournissent les *pouzzolanes*.

Spilites des basaltes. — Voyez à *spilites des mélaphyres*.

Wackes des basaltes. — Masses compactes, terreuses, d'un gris verdâtre ou brunâtre, à odeur argileuse, happant à la langue, où l'on distingue des paillettes de mica, des cristaux d'augite, de

(1) F. Z., *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1872, p. 16.

zéolithes, de hornblende quelquefois, des grains de magnétite, de péridot rouge, des cavités souvent remplies de cristaux de calcaire, de terre verte, de calcédoine, de cornaline; ces masses sont disséminées en blocs çà et là dans les pépérites.

Les argiles résultant de la décomposition des porphyrites, mélaphyres, basaltes, sont très riches en magnésie et renferment souvent des cristaux de feldspaths, d'augite, des grains de magnétite, etc.

Physionomie générale des roches basaltiques. — Ainsi que les mélaphyres, les basaltes se comportent souvent comme de vrais trapps et s'étalent à la surface du sol en vastes terrasses étagées les unes sur les autres; on les voit se dresser aussi comme de grandes murailles, ou comme des ruines amoncelées (Islande). Souvent les cratères basaltiques ont vomi des laves à texture scoriacée, des scories, des cendres, comme ceux des volcans actuels (Eifel, Auvergne); ou bien, imitant les trachytes, le basalte a



Fig. 316. — Grotte de Fingal, île basaltique de Staffa, Hébrides.

coiffé d'un dôme l'ouverture supérieure des grandes cheminées qui lui avaient donné passage. En général, les basaltes, accompagnés de leurs tufs et de leurs conglomérats, sont d'âge tertiaire. Les plus anciens basaltes du Cantal sont miocènes; les *basaltes*

dits des *plateaux* en Auvergne, appartiennent au pliocène supérieur. Ceux du centre de la France sont ordinairement postérieurs aux trachytes de la même région.

Souvent ils se divisent en colonnes prismatiques, qui s'élancent d'une venue à de grandes hauteurs, ou qui se subdivisent suivant des sections transversales en petits prismes superposés (fig. 316) (grotte de Fingal). Parfois les prismes s'arrondissent en boules (grottes des Fromages).

Roches augitiques, sans feldspath, récentes.

Néphélinites, Cordier (Dolérite néphélitique de Brongniart et de Léonhard). Roches à structure microlithique, ayant toutes les allures des roches basaltiques et n'en différant que par la substitution de la néphéline au feldspath, au moins en grande partie.

La néphéline s'y trouve en prismes hexagonaux, à éclat gras, à sections hexagonales, ou rectangulaires, presque carrées, d'un blanc jaunâtre, verdâtre, rougeâtre, fusible au chalumeau, etc. (voir néphéline).

Les *néphélinites* proprement dites ne contiennent pas de feldspath ; celles qui en renferment sont les *téphrites* (voy. plus haut, p. 564).

La N. de Katzenbückel, Odenwald, renferme des petits cristaux à section rectangulaire ou hexagonale d'une matière qui paraît être de la *noséane*, et des petits octaèdres de *pléonaste* d'après Sandberger.

Variétés principales : N. *grenue* ; N. *à grains fins* ; N. compacte ; N. avec amphibole (passage aux amphigénites).

On appelle **néphélinites à olivine,** celles où le péridot s'ajoute à la néphéline et à l'augite.

Amphigénite Cordier. (*Leucitites*). — Basaltes à amphigène. Roches compactes, souvent porphyriques, d'un gris foncé, ou rougeâtres, dans lesquelles la leucite ou amphigène remplace plus ou moins complètement le feldspath. Les cristaux de leucite sou-

Pl. XVIII

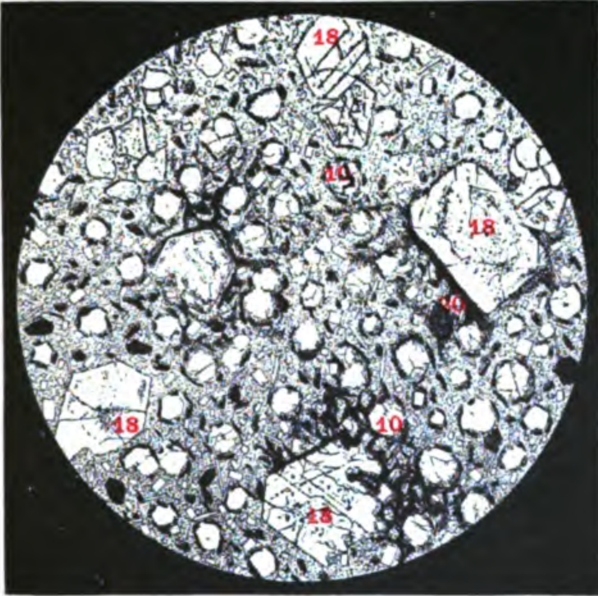


Fig. 317. — LEUCITITE D'OLBRÜCK, LAC DE LAACH.

(*Page 573*)

I. Augite (20), haüyne (18), leucite (10). On y voit aussi
II des microlithes de néphéline, de feldspaths, d'augite (20),
formant souvent couronne autour des cristaux de leucite.

(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL LÉVY, Pl. LI. fig. 1.*)



Fig. 318. — LEUCITITE DE LA SOMMA (VÉSUVE).
(*Page 575*)

I. — Leucite (10), pyroxène (20), anorthite (8) rare.
II. — Magma vitreux très abondant.
La leucite présente ses macles multiples.



(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL LÉVY, Pl. LI, fig. 2.*)

vent abondants sont d'un blanc grisâtre, en trapézoèdres disséminés, en même temps que des cristaux plus petits d'augite, dans une pâte qui se résout au microscope en microlithes des mêmes matières, avec grains de péridot, hornblende, mica, haüyne. Le péridot paraît s'être séparé le premier du magma.

Zirkel distingue du leucitbasalt les laves du Vésuve qui contiennent beaucoup de sanidine sous le nom de *leucites à sanidines*. Ces laves renferment leucite, feldspath, néphiline, augite, péridot, mica, apatite, magnésite, hornblende, mélanite, sodalithe, etc.

Elles varient dans les différents points d'une même éruption, à plus forte raison d'une éruption à une autre. Elles sont ici basaltiques et là plus ou moins vitreuses. On les subdivise en leucitophyres quand elles renferment des feldspaths, sans péridot, leucitophyres à olivine, quand elles contiennent à la fois des feldspaths et du péridot, leucitites, quand la leucite a complètement exclu le feldspath (fig. 317 et 318).

Mélilites. — Basalte ou le feldspath est remplacé par de la mélilite. Le magna fondamental y est fait d'augite et de mélilithe, et renferme des cristaux de néphéline, de magnétite, de pérowskite, d'apatite et d'haüyne. Lorsque la mélilithe s'individualise, elle se présente en tables carrées ou rectangulaires, bleues, transparentes, ou jaunes, verdâtres, même blanches et troubles, parcourues alors par des fentes transversales, perpendiculaires aux longs côtés des rectangles. L'olivine s'y trouve en cristaux quelquefois incomplets et la pérowskite y montre les anomalies optiques qui la caractérisent.

Haüynophyres. — Ce nom a été donné par quelques auteurs à des laves d'un gris foncé ou noirâtre, qui se rattachent aux amphigénites, mais qui renferment beaucoup d'haüyne vitreuse, bleue ou blanchâtre (laves du mont Vultur, près Melfi, en Italie).

Analyse d'une lave de Santorin, par M. Fouqué : La masse amorphe empâte des nodules creux ou pleins, qui renferment les uns de la *wollastonite* en tables incolores et transparentes, hérissées de fassaïte et de mélanite en dodécaèdres, les autres un

mélange de wollastonite et de quartz. Ceux-ci sont traversés par des aiguilles de lave ambiante. La masse de la lave contient quelques petits cristaux de feldspath décomposé, d'augite et magnétite. La partie amorphe a pour densité 2,55 et renferme : silice 66,8 ; alumine 16,5 ; chaux 3,9 ; magnésie 8.9 ; potasse 1,5 ; soude 7,4 ; sesquioxyde de fer 29.

Roche augitique, sans feldspath, prétertiaire.

Ijolithe. — C'est la seule de ce genre, prétertiaire, qu'on connaisse jusqu'ici. Elle a été découverte par Wiik, en Finlande, aux environs du mont Iiwaara, composée d'éléolithe, en grains généralement informes, d'un blanc grisâtre ou rougeâtre, à éclat gras ou vitreux, associées à du pyroxène d'un jaune clair cristallisé, à des grains brunâtres d'un grenat ferricocalcaire titanifère et à de l'apatite. Comme éléments de formation secondaire, la roche renferme sphène d'un rouge clair, cancrinite et calcaire. La silice y entre dans la proportion d'environ 43 o/o.

CHAPITRE V

ROCHES A DIALLAGE

Variolites, Werner. — Roches dures et tenaces, composées de globules, ordinairement d'un vert sale, empâtés dans une masse bleuâtre, hors de laquelle on les voit saillir, surtout dans les fragments roulés, en sorte de pustules. D'après les analyses microscopiques et chimiques de M. Michel-Lévy, elles se composent : 1° de globules et 2° d'une pâte.

Les globules consistent eux-mêmes en une agglomération de petites productions cristallines allongées parallèles entre elles par régions définies qui se groupent sous forme d'arborisations enche-

vêtrées; l'**oligoclase** s'y présente en fibrilles et pseudo cristallites; le **pyroxène** en granules plus ou moins allongés; l'**actinote** en microlithes lamelleux.

La pâte est une *matière presque amorphe*, *serpentineuse*, contenant des granules de **pyroxène** et comme élément dominant de l'**actinote lamelleuse**, parfois associée à la *hornblende*.

Enfin dans les plaques minces de variolite M. Michel-Lévy a observé des petits filons secondaires qui disloquent plus ou moins tous les autres éléments, où l'on trouve du **labrador**, de l'**augite**, des aiguilles d'**actinote**, des microlithes d'**apatite**, et comme minéraux secondaires la même *matière verte amorphe* que dans la pâte, de l'*opale*, de la *tridymite*, et du *fer oligiste* avec du *calcaire* comme appoint.

La variolite est une variété de gabbro; elle forme des amas transversaux souvent enclavés dans les serpentines et les euphotides.

C'est pourquoi, bien qu'elle ne contienne pas de diallage proprement dit, nous l'avons décrite en même temps que les gabbros.

Euphotides et gabbros. — Haüy a donné ce nom à une roche composée de **feldspath** compacte, tenace (jade de Saussure) et de **diallage**. Il y distinguait les variétés *a*, à diallage verte et *b* à diallage métalloïde. Elle correspond en partie au *gabbro* de G. Rose, de Buch et de Léonhard; la variété à diallage verte, ou smaragdite, est le *verde di Corsica* des Italiens.

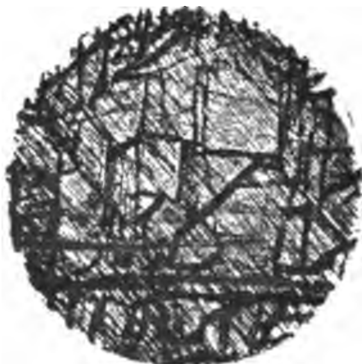


Fig. 319. — Clivages prismatiques et parallèles à h^1 sur une section droite dans la diallage du gabbro à olivine, de Hausdorf, près Neurode (Silésie). Réduction d'après Cohen, collection microphotographique.

Aujourd'hui, l'on appelle en général : 1° *euphotides* celles de ces roches qui sont composées du feldspath dit *saussurite* et de la belle matière verte, appelée *smaragdite*; 2° gabbros celles où entrent

comme éléments essentiels des feldspaths non altérés et de la diallage proprement dite (fig. 319).

Ce sont indistinctement des roches granitoïdes composées de **feldspaths calcosodiques** et de **pyroxène** où domine la **diallage,** associée souvent à l'*hypersthène*. Accessoirement : *apatite*, mica *magnésien* et fer titané avec ses produits d'altération ; quelquefois fer chromé, plus rarement *quartz*. Le feldspath, lorsqu'il est frais, montre des stries de groupement et ses directions d'extinction sur les plans de clivage correspondent en général à celles des espèces les moins riches en silice. Mais souvent, dans les cristaux ou dans les masses qui semblent en occuper la place, on aperçoit un entassement confus et opaque d'aiguilles et de grains blancs ou d'un blanc grisâtre, qui a reçu le nom de *saussurite*.

La structure, les stries de groupement des feldspaths sont masquées par les agrégats de cette matière moins riche en silice (environ 44 o/o), qui semble se développer aux dépens des feldspaths et qui se rapproche par sa composition chimique de la zoïsite et mieux de la méionite. Elle est souvent mêlée d'aiguilles d'actinote.

Haidinger a trouvé un mélange d'actinote et de pyroxène dans la *smaragdite*, d'un beau vert d'herbe, à éclat chatoyant et un peu nacré qui brille sur le fond mat d'un blanc de porcelaine, formé par la matière feldspathique dans le *verde di Corsica* des artistes (1).

Voici un résumé de l'étude microscopique de l'euphotide du Mont Genèvre, par M. Michel-Lévy. C'est à l'œil nu une association de **feldspath** mat, verdâtre et de **diallage** d'un vert foncé, à reflets éclatants.

Au microscope, le feldspath, dont la composition se rapproche de celle du labrador est entièrement transformé en *saussurite* et polarisé à la façon des agrégats ; il est cassé et recimenté par une matière vert émeraude, serpentineuse, encore dichroïque et fibreuse par places, souvent remplie de microlithes aigus d'acti-

(1) Voyez pour la smaragdite à l'espèce diallage, p. 575.

note. La diallage, en grandes plages à contours irréguliers, présente généralement les petits microlithes bruns auxquels il doit son éclat bronzé, rangés ici suivant le plan de clivage *h* (1).

La diallage d'un brun clair est à peine dichroïque, mais elle le devient fortement sur ses bords qui offrent les clivages et les colorations verte et brune de la *hornblende*. Enfin les plages diallagiques semblent quelquefois presque entièrement occupées par une substance lamelleuse aussi, mais d'un vert émeraude, qui rappelle l'actinote verte lamelleuse des variolites.

Elle est ordinairement répandue en grains irréguliers entre ceux de feldspath; elle est quelquefois remplacée totalement ou en partie par cette matière d'un beau vert d'herbe, appelée *smaragdite*, qui paraît un entrelacement de lames de pyroxène, parallèles entre elles, et de lames minces d'amphibole, d'orientations différentes, mais ayant toutes une face *m* parallèle aux faces h^1 du pyroxène; quelquefois au lieu d'amphibole, on trouve comme remplaçant la diallage de la glaucophane, d'un bleu clair suivant l'axe de plus grande élasticité, violacée suivant l'axe moyen, jaune clair suivant l'axe minimum (Lacroix).

Quelques euphotides et gabbros *renferment* du *péridot*, en même temps que des oxydes de fer avec titane et du fer chromé. L'olivine s'y présente alors en petits grains entourés d'amphibole, ou d'hypersthène, et quelquefois elle est transformée en serpentine.

Le gabbro noir de Volpersdorf, en Silésie, est un mélange de labrador, d'un noir grisâtre, de diallage brun et de grains de péridot brun en général transformé en serpentine. On divise les gabbros *en andésitiques*, *labradoriques*, *anorthiques*, suivant la nature de leurs feldspaths.

Les euphotides sont des roches éruptives; elles se sont quelquefois épanchées en forme de couches dans les terrains anciens ou primitifs; mais leurs amas percent en Italie le terrain nummulitique, sans qu'on puisse trouver entre les roches prétertiaires et

(1) Voy. Michel Lévy, *Bull. Soc. de France*, t. V, p. 232.

les plus jeunes un autre caractère distinctif que celui de l'époque de leur venue au jour.

Ces roches sont, comme il a été dit, une structure granitoïde, tendant à l'ophitique et quelquefois à une disposition parallèle de leurs éléments, une sorte de schistosité, due vraisemblablement à des pressions latérales exercées sur certaines régions de la masse éruptive par les régions voisines.

Souvent on y observe un arrangement relatif des éléments qui s'y répète assez irrégulièrement. Autour d'un noyau de magnétite, ilménite, etc., il y a une sorte d'écorce d'hypersthène, de diallage, quelquefois transformée en hornblende; enfin, extérieurement le feldspath, qui semble s'être consolidé le dernier.

Elles passent aux norites, lorsqu'elles s'assimilent des pyroxènes orthorhombiques; aux diabases, lorsque les pyroxènes monocliniques y deviennent abondants; aux diorites, lorsque l'amphibole s'y substitue à la diallage. Lorsque le péridot y entre dans de fortes proportions et s'altère, elles passent à la serpentine.

CHAPITRE VI

ROCHES A PYROXÈNES ORTHORHOMBIQUES

Norites et Hypérites. — Hausmann avait appelé *hypersthénite* une roche formée d'*hypersthène* et Cordier *sélagite* une roche composée d'hypersthène et de labrador. Esmark a donné plus tard le nom de *norites* aux sélagites de Cordier; ce nom prévaut aujourd'hui pour les roches antétertiaires et l'on appelle *hypérites* celles qui sont postérieures aux terrains secondaires.

La norite est composée essentiellement de **feldspaths calcoso-**

diques et de *bisilicates orthorhombiques*, particulièrement d'**hypersthène**.

Elle est souvent voisine des gabbros et contient de la diallage entrelacée avec le pyroxène orthorhombique.

C'est une roche grisâtre, brunâtre, à gros grains. Sa densité moyenne est de 2,9.

Accessoirement : *diallage*, *biotite*.

Quelques-unes contiennent du péridot.

On les divise en norites labradoriques et anorthiques, avec ou sans olivine, suivant que leur élément feldspathique appartient au labrador ou à l'anorthite et suivant qu'elles renferment ou non du péridot.

Lorsqu'on veut distinguer les roches prétertiaires des plus récentes, on appelle celles-ci *hypérites*.

Lherzolithe. — Agrégat grenu, composé d'**olivine** en grains d'un vert olive, infusible au chalumeau, et faisant gelée avec les acides ; d'**enstatite**, en grains d'un brun grisâtre, très difficilement fusibles, et insolubles dans les acides ; de **diopside** chromifère, en grains d'un vert émeraude, fusibles au chalumeau en perle verte, et donnant la réaction du chrome avec le sel de phosphore ; enfin, de quelques grains petits, noirs, d'un pléonaste contenant 8 o/o de chrome et appelé **picotite**. (Cette analyse des éléments de la lherzolithe est due à M. Damour. (*Bull. Soc. géol. de France*, 2e série, t. XIX, p. 413.) Prise en masse, la roche est verte ou d'un vert un peu noirâtre ; sa densité est de 3,28.

La lherzolithe est souvent altérée, au moins en partie ; il en résulte çà et là, dans la roche, des régions serpentineuses qui ont envahi d'abord le péridot, puis l'enstatite, et enfin le diopside.

Une variété de lherzolithe est enclavée dans les gneiss, dans le massif des Maures. Celle de l'étang de Lherz date du lias moyen, d'après MM. Lacroix et de Lacvivier.

Des lherzolithes on peut rapprocher les **picrites** de Gümbel, qui n'en diffèrent que par une petite quantité d'augite associée au diopside, en même temps que par ses éléments accessoires, *ilmé-*

nite, mica magnésien, hornblende, apatite, et qu'on peut diviser en *paléopicrites*, plus anciennes que le terrain tertiaire, et *picrites* proprement dites ou jeunes au point de vue de leur âge géologique.

Les picrites ont parfois une structure porphyrique.

Péridotite. — Roches analogues à la précédente, mais prétertiaires et dans lesquelles l'élément presque exclusif est le **péridot**, auquel s'adjoint accessoirement le *fer chromé*. La roche est infusible au chalumeau ; elle se dissout à chaud dans l'acide chlorhydrique ; elle a pour densité 3,3, pour dureté 5,5.

Limburgite. (Augite et olivine). — Certains basaltes où disparaît le feldspath ont reçu ce nom. Accessoirement *fer oxydulé*, *fer titané*. Il s'y mêle des microlithes de *magnétite titanifère*.

Serpentine. — Roche formée essentiellement de l'espèce minérale de ce nom (voy. p. 362).

La serpentine est compacte, finement grenue, ou foliacée, presque lamellaire, mais à feuillets difficilement séparables, ou enfin fibreuse, à fibres quelquefois désagrégées, qui produisent des matières asbestoïdes, tenaces, *chrysotiles*, picrosmines, etc. Elle offre en grand une division en plaques, en masses irrégulières, dont les surfaces extérieures ont un éclat caractéristique, analogue à celui d'un vernis, ou sont recouvertes d'un enduit de calcaire fibreux ou laminaire. Souvent ces masses sont séparées par de la stéatite ou de la chlorite.

Éléments accessoires : *Diallage* souvent très abondante ; *olivine, grenats, mica, quartz, opale* et dans les cavités, *talc, chlorite*. La serpentine forme des couches dans les schistes cristallisés, quelquefois des amas intercalaires considérables ou des filons. Ses dykes, ses masses percent les terrains sédimentaires de différents âges et s'y fondent avec les gabbros, l'éclogite ; elle renferme des amas fort importants de fer chromé ou de magnétite, parfois des grains de platine très disséminés (Oural).

Elle est précambrienne à Saint-Bonnet, dans le Beaujolais, en France, antérieure à des filons de pegmatite graphique et posté-

rieure aux schistes siluriens d'Almaden, en Espagne, de l'époque crétacée en Serbie; elle n'est pas plus ancienne que l'éocène supérieur, dans les Apennins, où elle est associée aux roches euphotidiennes qui ont été accompagnées des émanations cuprifères les plus récentes.

Elle résiste à l'attaque des agents atmosphériques, et ne donne aucune végétation, par exemple en un certain nombre de points de la Nouvelle-Calédonie et dans les Alpes, où les habitants appellent *monts Morts* les massifs qui en sont composés. L'action prolongée de l'eau et de l'acide carbonique de l'air finit pourtant par lui enlever de la magnésie, en produisant de la silice hachée, des opales, du carbonate, et même du sulfate de magnésie, lorsque la roche mère est pyriteuse.

La serpentine provient généralement de la décomposition de minéraux riches en magnésie et pauvres en alumine (péridot, enstatite, augite, diallage, hornblende). Les cristaux de péridot de Snarum, en Norvège, montrent cette décompostion en grand; on l'observe aussi dans ces hydrosilicates de magnésie, si riches en oxyde de nickel, appelés *garniérite*, *nouméite*, et provenant des environs de Kanala, Nouvelle-Calédonie. Fréquemment les cristaux de péridot, dans un très grand nombre de roches, sont complètement altérés. Ceux de Snarum, intacts à l'intérieur, sont extérieurement transformés en une croûte granuleuse de serpentine, d'où partent des filaments très fins de la même matière qui sillonnent en zigzag les cristaux, en se dirigeant dans leur ensemble, d'après Volger, suivant leur courte diagonale.

Lorsqu'on observe une section mince de serpentine entre deux nicols au microscope, on y observe ordinairement des couleurs vives et variées qui forment quelquefois une mosaïque à disposition des plus irrégulières, mais qui souvent sont juxtaposées en bandes parallèles.

Une matière serpentineuse, en petites lamelles, que l'on regarde comme provenant de l'altération de cristaux de péridot, s'associe à un feldspath calcosodique décomposé dans la roche appelée par les

Allemands *forellenstein* (mot à mot : *pierre de truite*). Ces deux sortes d'éléments ne sont distincts qu'à un grossissement considérable, et se confondent en une pâte ordinairement verdâtre. Cette roche est assez abondante à Volpersdorf, en Silésie.

M. Zirkel rattache à la pierre de truite une anorthite à serpentine de Harzbourg, étudiée d'abord par M. Hagge et décrite par M. Streng sous le nom de *serpentinfels*.

L'anorthite y forme une masse fraîche mais presque entièrement grenue, contenant du péridot qui n'est pas encore tout à fait altéré (fig. 320).

Serpentines à bastite. — Certaines variétés de serpentine contiennent une assez grande quantité de bastite pour avoir reçu un nom particulier.

A la suite de la serpentine, on peut mentionner :

La **chamoisite** (50 à 60 o/o de FeO, 12 à 14 o/o de silice, environ 7 o/o d'alumine et 17 o/o d'eau) qui fond au chalumeau en scorie noire, magnétique, qui fait gelée avec l'acide chlorhydrique et qui ordinairement en grains forme des couches dans le jurassique alpin de la Suisse. Une espèce voisine, la *berthiérite*, mêlée de carbonate et d'oxyde de fer, constitue le minerai d'Hayanges, Moselle.

Roche micacée sans feldspath.

Greisen, Werner (*hyalomnite*, Brongniart). Roche grenue composée de **mica** et de **quartz** mélangés confusément. Le mica peut y entrer pour une proportion variant de 30 à 60 o/o; à cause de son éclat, il semble former la roche presque à lui seul. C'est un granite sans feldspath. Le greisen traverse les massifs granitiques et renferme souvent des filons de *cassitérite* à éclat un peu résineux. Il contient quelquefois du *feldspath* et passe alors aux granites.

Minéraux accidentels : *Fluorine, apatite, topaze, tourmaline, émeraude, chalkopyrite, mispickel.*



Fig. 320. — SERPENTINE A ENSTATITE DE BASTE (HARTZ).
(*Page 582*)

Grossissement = 21 diamètres. Lumière polarisée, nicols croisés.

Le dessin représente les minéraux suivants :
I. — Fer chromé (28).
II. — Enstatite (22),
III. — Bastite (38), serpentine (39), chrysolite (39-a).

La bastite est parfois transformée en serpentine à la lumière polarisée, tandis qu'à la lumière naturelle elle montre encore les stries très fines qui la caractérisent (38-39).

Le fer chromé est en petits octoèdres à faces arrondies, légèrement translucides en brun foncé.

(*D'après MM. FOUQUÉ et MICHEL-LÉVY,* Minéralogie micrographique. — *Atlas, Pl. LIII, fig. 2.*)

PLANCHE H



Gneiss (grandeur naturelle) montrant des parties lenticulaires ou phacoïdes.

Vis-à-vis la page 583.

PLANCHE G



Fig. 1. — Gneiss (à peu près 2/3 de grandeur naturelle).
On voit bien l'alignement des lits de minéraux constituant la roche.



Fig. 2. — Schiste tacheté.
(A peu près grandeur naturelle).

Vis-à-vis la page 583.

CHAPITRE VII

ROCHES CRISTALLINES A STRUCTURE SCHISTEUSE

A. — Roches acides.

Gneiss. *Gneiss proprement dits.* — Ce sont des roches acides les plus cristallines de celles qu'on observe au-dessous des granites, souvent traversées pas les granites et se confondant même quelquefois avec eux par des transitions insensibles. Ils se composent essentiellement comme les granites de feldspaths, parmi lesquels dominent l'orthose, le mica et le quartz; ils ne s'en distinguent que par leur structure schisteuse ou au moins rubanée, due au parallélisme des lamelles de mica qui forment comme des feuillets alternes avec les cristaux de feldspaths mêlés plus ou moins intimement au quartz et souvent couchés parallèlement au mica.

L'orthose, de couleur claire dans beaucoup de gneiss, rouge dans quelques autres, renferme du mica, de l'apatite, de la magnétite; il est quelquefois mélangé à des feldspaths calcosodiques qui lui donnent une structure fibreuse; le quartz, blanc ou gris renferme feldspath, biotite, oligiste, zircon, etc.; le mica muscovite contient : rutile, grenats, zircons, épidote, etc. Certains gneiss ne contiennent guère que du mica muscovite, dans d'autres domine la biotite; un grand nombre renferment les deux. Les lamelles de mica, disposées en couches minces, divisent la roche en bandes, en feuillets plus ou moins contournés, quelquefois plissés en zigzag. On distingue facilement sur la tranche perpendiculaire aux couches l'alternance des lits de mica et des veines de quartz et de feldspath mélangés.

Les gneiss se divisent plus ou moins difficilement en feuillets ;

sur la face du clivage, le mica paraît assez abondant; mais, sur la tranche, il n'apparaît qu'en proportion très inférieure à celle des autres éléments.

La proportion d'orthose est de 56 à 60 o/o; celle de quartz, de 11 à 30 o/o; celle de mica de 10 à 25 o/o. La proportion de silice y varie de 56 à 75 o/o.

Le quartz, riche en inclusions fluides, contenant quelquefois des *libelles* ou bulles mobiles (Saint-Gothard), s'y présente en grains déprimés souvent difficiles à distinguer du feldspath auquel il est mélangé.

Souvent le feldspath se rassemble çà et là dans la masse en rognons et le mica en nodules. La densité de la roche est d'environ 2,6 à 2,7. Le gneiss gris contient 66 o/o de silice et le rouge environ 75. Accessoirement : *grenats, apatite, cordiérite* (gneiss à cordiérite), calcaire cristallisé; *graphite*, magnétite, pyrite, *épidote, zircon, sphène, sillimannite*, etc.

Gneiss amphibolifères. — Certains gneiss deviennent riches en amphibole ; les feldspaths calcosodiques s'y trouvent alors en plus forte proportion que l'orthose; accessoirement : *scapolite, sphène, vollastonite* ; ils sont finement cristallins et peu schisteux; ils alternent ordinairement avec les gneiss, mais ils les traversent quelquefois et ils passent aux schistes amphiboliques.

Gneiss protoginiques. — Dans les protogines du Mont-Blanc la structure schisteuse est souvent des plus apparentes, surtout sur les bords du massif. Dans cette roche, le mica appartient à la variété dite *séricite*, il a un toucher assez onctueux; le quartz y est peu abondant. Daubrée a émis l'opinion que la structure schisteuse y proviendrait d'actions mécaniques déterminées par la sortie de la roche. Accessoirement : *hornblende, rutile, cesbeste, épidote, sphène, pyrite, magnétites*, etc.

Leptynites (*Feldspath grenu, Weisstein*). — C'est une sorte de gneiss, à grains très fins, finement rubanée, généralement pauvre en mica, où la structure schisteuse est souvent rendue visible par des rangées parallèles de grains de quartz ou de grenat qui sépa-

rent les unes des autres les bandes de feldspath. Accessoirement : *mica, disthène, amphibole, épidote, tournaline.*

Relations des gneiss et des roches éruptives.

Les gneiss, en général, forment les assises inférieures des terrains cristallisés schisteux, le soubassement de tout ce qu'on a pu connaître jusqu'ici dans l'écorce solide du globe. Les granulites et les pegmatites les traversent en s'y épandant à de plus ou moins grandes distances et en y formant de véritables couches qui alternent avec celles de la roche encaissante. Il n'est pas étonnant qu'au commencement, l'enveloppe superficielle de notre planète qui se refroidissait la première ait eu la même composition que les masses qui en venaient remplir les énormes fentes produites par les convulsions intérieures. Ces couches de granite injecté forment avec les couches alternes du gneiss ce qu'on peut appeler avec M. Michel-Lévy des *gneiss granitiques.*

Doit-on regarder le gneiss comme le produit de la première consolidation de la surface du globe au moment où il a commencé à se refroidir? Nous ne le croyons pas. Pour comprendre sa structure, il faudrait admettre un anneau sphérique non encore solidifié sous un autre qui l'était déjà. Dans celui qui ne l'était pas, les éléments se seraient donc disposés suivant leur ordre de densité, un lit de mica plus fusible et plus léger en dessus ; le reste du magma appauvri en matière capable de former du mica, aurait pu, au contraire, fournir du quartz et du feldspath, prenant les structures cristallines propres à ces corps ; mais on a de la peine à se figurer que cette disposition assez compliquée se soit répétée aussi régulièrement un nombre incalculable de fois, lorsque l'on compare l'énorme puissance des gneiss à la si faible épaisseur de leurs couches successives.

Dans certains cas, comme il a été dit plus haut (v. granites gneissiques), quelques portions des masses granitiques prennent une texture vraiment analogue à celle des gneiss. Les expériences

faites sur la reproduction de la schistosité donnent une explication plus compréhensible de la structure des gneiss. Il n'est pas rare de rencontrer dans les granites des parties schistoïdes ; c'est ce qui a été signalé à plusieurs reprises par divers observateurs et ce que nous avons constaté aux environs de Royat, Puy-de-Dôme, surtout dans les portions qui s'amincissent, séparées de leurs voisines par des fissures terminées en coins. Et, comme d'après les expériences détaillées page 506, il suffit que des matières pulvérulentes, ou massives, telles que l'argile plastique, possédant encore son eau de carrière, soient poussées contre un obstacle fixe par une paroi mobile, avec une force de 20 atmosphères, égale à peu près au poids d'une colonne d'eau de 200 mètres de hauteur, pour devenir nettement schisteuses, il est évident qu'une masse d'eau n'a pas besoin d'avoir une hauteur de plus de 200 mètres au dessus du fond de son bassin, pour communiquer aux couches formées par les sédiments qu'elle y dépose les caractères de la schistosité. Il n'est donc pas surprenant qu'au commencement, soumises d'une part aux apports venus des profondeurs à travers les innombrables fissures qui devaient sillonner l'écorce terrestre, encore peu épaisse, et d'autre part à la pression des eaux océaniques étalées alors sur presque toute la surface du globe, les premières roches sédimentaires aient acquis à la fois une grande richesse en espèces minérales variées et une structure schisteuse, qui les ont complètement transfigurées.

Dans les gneiss proprement dits, les lamelles de mica forment des sortes de couches très minces alternes avec celles plus épaisses de quartz et de feldspath ; dans les granites passant aux gneiss, les lamelles de mica ont des orientations beaucoup moins irrégulières ; elles sont assez abondantes aussi sur les surfaces de cassure ; mais souvent un assez grand nombre sont aussi bien perpendiculaires que parallèles à ces surfaces ; les roches semblent alors avoir reçu des pressions latérales dans des directions plus ou moins rectangulaires qui ont orienté les lamelles de mica parallèlement à leur résultante.

Micaschistes. — Assemblage grenu, cristallin, de mica et de quartz à texture schisteuse. Le mica forme quelquefois la moitié et souvent le tiers de la masse; mais dans quelques-uns la quantité de mica est si petite qu'ils ne méritent plus que le nom de schistes quartzeux micacés; dans d'autres, au contraire, c'est le quartz qui disparaît. Aussi la proportion de silice varie-t-elle de 40,7 (micaschiste dit *amphilogite*, du Zillerthal, à densité 2,75 à 69,45 (M. du Tyrol à densité 3,14) ; elle atteint même 82 au Mont-Rosa.

Dans ces roches, le mica se montre en paillettes indépendantes, disposées par couches, ou réunies en membranes. A la muscovite, s'associe souvent la biotite, plus foncée, qui est souvent oblique ou perpendiculaire à la schistosité. Le quartz cristallin grenu remplit l'espace qui sépare ces couches ou ces membranes parallèles et planes ou ondulées, contournées, plissées en zigzag. Plus le mica est abondant, plus la roche devient schisteuse et se divise facilement en feuillets ; sur le plan de la cassure, la roche miroite, brille d'un vif éclat et montre généralement peu de quartz. C'est dans la cassure perpendiculaire que l'on peut se rendre mieux compte de la vraie proportion du mica. Lorsque le quartz est très abondant, la schistosité n'est plus que peu apparente et le quartz forme des lentilles, des plaques, des petites masses noueuses, entourées par le mica.

La damourite, à éclat nacré, remplace quelquefois les micas proprement dits.

Éléments accessoires. — Les feldspaths (passage aux gneiss) ; les rouges, grenats, en dodécaèdres rhomboïdaux ou en grains qui deviennent quelquefois aussi abondants que les éléments essentiels et sont riches en inclusions ; le *graphite* quelquefois assez abondant pour faire donner à la roche le nom de *micaschiste graphiteux* ; (le calcaire et les carbonates rhomboédriques (passage aux cipolins) :

Schistes à paragonite, à structure schisto lamellaire. Quelquefois le mica appartient à la variété appelée *paragonite*, à toucher

onctueux (Saint-Gothard, Colorado). A Changé (Mayenne), on trouve en veines dans des schistes ardoisiers une matière schisto-fibreuse, qui, à un très fort grossissement, se résout en fibrilles s'éteignant suivant leur longueur et dont la composition chimique se rapproche de celle de la paragonite; elle a le même toucher onctueux, la même densité 2,765 (1); la formule chimique est : $(K,Na,H)^2 Al^2Si^2O^8 = K,Na,H,AlSiO^4$.

Les micaschistes peuvent contenir un très grand nombre de minéraux accidentellement : tourmaline, andalousite, staurotide, disthène, émeraude, apatites, zéolithes, chlorites, talc, mispickel, pyrites de fer, chalkopyrite et dans leurs cavités albite, anatase, rutile, etc. La tourmaline s'y présente quelquefois en assez grande quantité pour leur faire donner le nom de *schistes à tourmaline*.

Lorsqu'ils prennent un grain très fin, que leurs éléments deviennent indistincts à l'œil nu, ils passent aux *phyllites*.

Lorsque le quartz s'y présente en excès, ils passent aux quartzites schisteux.

Itacolumite. *Grès élastique*. — Roche formée de grains inégaux, irréguliers, de quartz, mêlés à du mica biaxe, vert ou de couleur claire, qui peut s'y trouver confusément épars, mais qui souvent y est disposé sur des plans parallèles, suivant lesquels la roche se clive facilement. Le quartz s'y présente en grains, quelquefois à contours cristallins, qui souvent sont assez faiblement agrégés pour laisser à la masse une grande élasticité (*grès élastiques*).

Les micaschistes recouvrent ou enveloppent les gneiss. Ils forment quelquefois de hautes montagnes déchirées par de grandes crevasses. Leur altération produit une argile ocreuse, arénifère et micacée. Les schistes à paragonite de Changé donnent lieu à une sorte de kaolin.

Itabirite (du pic Itabira, au Brésil, qui en est formé). — Roche

(1) Jannettaz, *Bull. soc. géol. de Fr.*, 3e série, t. X, p. 398.

schistoïde, composée de sesquioxyde de fer grenu ou lamellaire, associé à du quartz.

Accessoirement : *talc*, *mica*, *épidote*, *chlorite*, *feldspath*, *magnétite*, *or natif*.

Ces roches, itacolumites et itabirites, peuvent être regardées comme des variétés locales des micaschistes. L'oligiste, qui est l'élément essentiel des itabirites, a été évidemment apporté dans des schistes antérieurs par des émanations souterraines. Il en est de même de la **magnétite stratiforme**. Cette matière, arrivée des profondeurs par des fentes filoniennes s'est épanchée quelquefois en amas stratiformes dans les schistes cristallins qu'elle traversait (voy. pour les caractères des magnétites, p. 265). Elle est accompagnée de *quartz*, *apatite*, *calcaire*, *talc*, *mica*, *chlorite*, souvent d'amphibole, d'épidote, de grenat, de rutile, de pyrites, etc.

Quartzites. — Modifications des micaschistes qui ne contiennent plus que du quartz grenu, gris, souvent à grains fins. Ces roches passent aux itacolumites ou micaschistes d'une part en s'adjoignant du mica, au gneiss en se chargeant de cristaux plus ou moins nombreux, plus ou moins gros de feldspath, qui leur donnent quelquefois un faciès porphyroïde. Elles sont répandues surtout dans les schistes cristallisés ; mais on les retrouve dans les terrains primaires inférieurs, alternes avec des roches sédimentaires.

Les montagnes constituées par les quartzites et leurs passages aux micaschistes ont souvent la forme de murailles ; on les voit se dresser d'une manière très capricieuse au milieu de débris des roches qui les enveloppaient, mais que les actions de l'atmosphère ont pu faire tomber en ruines avant eux.

Ils sont souvent divisés en prismes à plusieurs pans par des fissures transversales.

Talcschistes. — Agrégats à texture distinctement schisteuse, d'écailles ou de paillettes de *talc*, d'un jaune clair ou verdâtre, d'un vert d'huile, d'un vert émeraude, rarement rouge, à éclat nacré, huileux, à toucher doux et gras.

Éléments accessoires: *quartz* en grains, en masses lenticulaires, *feldspath* (passage au gneiss protoginique, *stéatite* feldspathique de d'Omalius d'Halloy), *chlorite* (passage aux schistes chloriteux), *mica* (passage aux micaschistes). Dans certaines variétés, le feldspath forme des nodules que contournent les feuillets de la roche (taleschistes glanduleux).

Accidentellement : *grenats, tourmaline. staurotide, disthène, épidote, actinote, apatite, rutile, sphène, oxydes de fer, pyrite, graphite, dolomie, giobertite, corindon, gahnite*, etc.

Les taleschistes forment des couches alternes avec les autres schistes cristallisés, particulièrement avec les schistes micacés.

B. — Roches schisteuses sans silice libre, basiques

Schistes amphiboliques (amphibolites) :

1° à base d'*actinote*. Roches composées de prismes aciculaires d'actinote, parallèles, ou groupés en houppes; ordinairement la texture en est schisteuse ou schistofibreuse;

2° à base de *hornblende*. Agrégats bacillaires de hornblende.

La hornblende, bacillaire, souvent fibreuse, parfois plus ou moins grenue, a ses fibres presque parallèles; parfois il s'y mêle de l'*augite*.

Accessoirement : *orthose, albite, quartz, chlorites, épidote, grenat, rutile*, rarement *muscovite, zoïsite, tourmaline, calcaire*. Le feldspath contient du rutile, du sphène, de l'apatite, du zircon; le grenat enveloppe de la hornblende. Il s'y joint quelquefois: *pyrite, oligiste, fluorine, asbeste, zéolithes* (stilbite, prehnite, chabasie, etc.).

On distingue les amphibolites ou schistes amphiboliques : 1° à *grenats*; 2° à *omphacite*; 3° à *épidote*; 4° à *orthose* (schistes syénitiques) ; 5° à *feldspaths calcosodiques* (schistes dioritiques) ; 6° à *augite* et *feldspaths calcosodiques* (schistes diabasiques). Ces schistes sont subordonnés aux gneiss et aux micaschistes.

Quelques amphibolites, malgré leur structure schisteuse, sont d'origine éruptive, par exemple dans les Vosges.

Schistes à glaucophane. — Ces roches, assez développées dans l'île Syra, dans l'île de Groix, en Morbihan, sont formées essentiellement de *glaucophane*.

Accessoirement : *glauconie, mica* et *quartz*, aux environs de la mine Balade, Nouvelle Calédonie, *épidote*. Dans l'île de Groix, comme l'a montré M. Barrois, des lits de schistes à glaucophane bleue ou d'un bleu verdâtre sont interstratifiés dans les micaschistes.

Schistes augitiques. — Roches composées principalement d'augite, peu importantes, subordonnées aux micaschistes.

Schistes à amphilogite. — Roches composées d'*amphilogite*, silicate d'alumine, de potasse et de soude, mêlé à du calcaire, à toucher onctueux, à structure schisteuse 4 °/₀ de silice.

Schistes à Zobténite. — Nom donné par M. Zirkel, à des roches composées de *diallage* et de *feldspaths calcosodiques*, subordonnées aux schistes chloriteux et amphiboliques.

Schistes chloriteux. — Agrégats d'un vert plus ou moins foncé, à poussière verdâtre, à texture schisteuse, formés d'écailles, de grains lamellaires de matières chloriteuses, molles et tendres, *clinochlores* et *pennines*, en cristaux à groupements très complexes, auxquels s'associent en général : *quartz, feldspaths, mica* (passage aux micaschistes), *talc, magnétite, fer titané, épidote*.

Accessoirement : *grenats, amphiboles, tourmaline, zoïsite, sphène, apatite, corindon, diaspore, chromite*, rutile, pyrites, carbonates rhomboèdriques, graphite.

Les schistes chloriteux renferment quelquefois des couches de quartzites, de la serpentine. Ils alternent avec les autres schistes cristallins et paraissent provenir de leur altération.

Schistes serpentineux. — Roche formée de *serpentine*, comme celle qui traverse les plus anciennes sous la forme de masses plus ou moins compactes, mais qui se présente en sorte de couches intercalées entre les schistes cristallins, gneiss, micaschistes,

schistes amphiboliques, talschistes ou schistes chloriteux. Ces schistes renferment accidentellement : *grenat pyrope*, *magnétite*, *parfois de la picotite*, *mica*, *épidote*, *chrysotile*, *picrosmine*, *calcaire*, *giobertite*, *iodérose*, *brucite*, *opale*, etc.

Eclogite. — Roche grenue, à peine schisteuse, composée de *grenat* et de *diallage verte*.

Accidentellement : *disthène*, *quartz*, *zoïsite*, *épidote*, *amphibole*, *pyrite magnétique*, *chromite*, *rutile*. La diallage est la *smaragdit* ou *omphacite*.

En petits amas dans les micaschistes.

Grenatite. — Roche de gisement analogue, sans diallage. Accessoirement : *feldspaths calcosodiques*.

Schistes à épidote. — L'*épidote* forme quelquefois à elle seule des lits intercalés comme ceux des roches précédentes dans les micaschistes.

Schistes à zoïsite. — Composés de *zoïsites* et de *grenats*.

TABLEAUX SYNOPTIQUES

REPRÉSENTANT

LA COMPOSITION MINÉRALOGIQUE ET LA STRUCTURE

DES ROCHES SILICATÉES CRISTALLINES

TABLEAUX SYNOPTIQUES REPRÉSENTANT LA COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

TABLEAU I. — ÉLÉMENTS DOMINATEURS :

			STRUCTURE	
			GRANITOÏDE (Type granitique)	PORPHYROÏDE (Type porphyrique)
QUARTZ OU SILICE LIBRE	Feldspath alcalin.	Structure.	**Granitique.** — Quartz informe; micas noir et blanc. *Granite.* **Granulitique.** — Quartz bipyramidé; mica blanc. *Granulitè.* **Pegmatoïde.** — Quartz orienté, mica blanc. *Pegmatite.*	*a* **Holocristalline.** **Microgranitique.** *Microgranite.* **Microgranulitique** (ancien porphyre quartzifère. *Microgranulite.* **Micropegmatoïde** (ancieu porpbyre quartzifère). *Micropegmatite.* *b*.**Semicristalline à quartz globulaire.** *Porphyre globulaire.* **Pétrosiliceuse.** *Porphyre pétrosiliceux.*
			Feldspath alcalinoterreux.	
PAS DE SILICE LIBRE	FELDSPATHS	Alcalins.	Avec mica. *Minette.*	
		Alcalino-terreux.	Avec mica. *Kersantite.*	
	FELDSPATHS avec feldspathoïdes			Sanidine et Néphéline. **Phonolithe.** Sanidine et Leucite. **Leucitophyre.**

ET LA STRUCTURE DES ROCHES SILICATÉES CRISTALLINES

FELDSPATHS OU FELDSPATHOIDES

STRUCTURE		
MICROLITHIQUE (type trachytique).	VITREUSE	SCHISTEUSE
Liparites (*Trachytes quartzifères*). **Rhyolites** à structure globulaire.	*Obsidienne.* *Ponce.* *Rétinite.* *Perlite.*	*Gneiss.*
Propylite et Dacite.		
Trachyte avec mica, **Tr. à mica.** avec amphibole, **Tr. à amphibole.** avec pyroxène. **Tr. à pyroxène.**		
Avec mica, pyroxène ou amphibole. { **Andésites.** **Labradorites**		

TABLEAU II. — ÉLÉMENT DOMINATEUR : AMPHIBOLE

		STRUCTURE				
		GRANITOÏDE		PORPHYROÏDE	MICROLITHIQUE	SCHISTEUSE
FELDSPATHS	alcalins	Sans quartz.	*Syénite.*	*Porphyre syénitique.*	**Trachyte à amphibole avec éléolithe. Phonolithe à amphibole.**	*Schiste amphibolique.* (Souvent peu de feldspath et de quartz).
		Avec quartz.	*S. quartzifère.*			
		Avec éléolithe.	*S. éléolithique.*			
		Avec leucite.	*S. leucitique.*			
	alcalino-terreux	Struction grenue ou ophitique sans quartz.	*Diorite.*	*Porphyrite andésitique à amphibole.*	**Andésite à amphibole.**	
		Anorthite et amphibole	*Diorite orbiculaire.*		**Labradorite à amphibole.**	

TABLEAU III. — ÉLÉMENTS DOMINATEURS : MICA NOIR OU CHLORITE

	STRUCTURE				
	GRENUE				
F. alcalins	**Mica noir et orthose.**	***Miascite.***			
Mica clair et quartz.		*Greisen.*			*Micaschistes.*
Chlorite accessoirement quartz et feldspaths.					*Schistes chloriteux.*

TABLEAU IV. — ÉLÉMENTS DOMINATEURS : PYROXÈNES

A. — Augite.

	STRUCTURE			
	GRENUE	PORPHYROÏDE OU MICROLITHIQUE — PRÉTERTIAIRES	PORPHYROÏDE OU MICROLITHIQUE — RÉCENTES	VITREUSE
Feldspaths alcalinoterreux — seuls	*Diabase* souvent ophitique. avec péridot. *D. à olivine.*	*Porphyrite andésitique à pyroxène.* *Porphyrite labradorique à pyroxène.* *Mélaphyre andésitique.* *Mélaphyre labradorique.*	**Andésites à pyroxène.** **Labradorites à pyroxène.** **Trachytes à ægyrine.** **Basaltes feldspathiques.**	*Tachylites.*
Feldspaths alcalinoterreux — avec feldspathoïdes	Néphéline: Structure ophitique. *Teschénite.* structure avec péridot. *T. à olivine.* Leucite avec péridot.		Téphrite. Leucitophyre. avec péridot. L. à olivine.	
Feldspathoïdes sans feldspaths	Néphéline. *Ijolite.* Néphéline et olivine. Leucite et olivine. Mélilite et olivine.		Basalte néphélinique. Basalte leucitique. Basalte mélilitique.	
Ni feldspaths ni feldspathoïdes	Pyroxènes. *Pyroxénite.* Pyroxène et olivine. *Lherzolite* *Dunite.*		Augite. *Augitite.* Augite et olivine. *Limburgite.*	

B. — Diallage.

Feldspaths alcalinoterreux.	*Gabbro.*			
F. avec olivine.	*Gabbro à olivine.*			
Grenat.	*Eclogites*			

C. — Hypersthène.

Feldspaths alcalinoterreux.	*Norite.*			
Feldspaths avec olivine.	*N. à olivine.*			

D. — Péridot.

Péridot seul.	*Péridotite.*			
Serpentine.	*Serpentine massive et schisteuse.*			
Talc.	*Schiste talqueux.*			

N. B. — Les noms imprimés en italiques désignent les *roches prétertiaires.*

CHAPITRE VIII

ROCHES FRANCHEMENT MÉTAMORPHIQUES.

(*Phyllites, phyllades, schistes argileux, argiles schisteuses.*)

On a donné tous ces noms à des roches de structure schisteuse, souvent divisibles en feuillets très minces, les unes, voisines des micaschistes, alternes avec eux et s'en rapprochant par leur éclat satiné, soyeux, assez brillant, entièrement cristallines, sans qu'on aperçoive, parmi leurs éléments essentiels, des cristaux à contours bien définis (*phyllites*) ; les autres à éclat plus mat, bien qu'elles contiennent généralement un élément fondamental, micacé, renfermant quelquefois des fossiles et des proportions de plus en plus grandes de matières clastiques au fur et à mesure qu'elles s'élèvent dans la série des terrains (*schistes argileux et argiles schisteuses*).

Parmi les schistes argileux se distinguent ceux qu'on appelle spécialement *phyllades, ardoises, schistes tégulaires*, à cause de la facilité avec laquelle on peut les travailler en plaques minces, résistantes, propres à la couverture des toits et qui est due, comme il a été dit plus haut, à des actions extérieures.

L'argile et les matières micacées formées, non pas sans doute par la pression seule, mais par cette pression aidée de l'action de la vapeur d'eau et d'une température élevée, souvent aussi d'émanations minérales, le graphite, la stéatite en général, les matières molles, plastiques, se prêtent merveilleusement à ce laminage; le calcaire, le quartz, les feldspaths, les matières cristallines, fragiles, y sont plus ou moins réfractaires.

Beaucoup de roches schisteuses ont conservé les traces de ces actions mécaniques; elles renferment çà et là des cristaux de grenats, de tourmaline, cassés, même des fossiles brisés, dont les tronçons se trouvent souvent déviés de leur direction commune, ou ont chevauché les uns sur les autres. Ces matières jouent un certain rôle dans la production de la fissilité principale, en ce sens qu'elles ont été souvent couchées suivant le sens de l'allongement général, celui de l'écoulement lors du mouvement déterminé par l'action mécanique extérieure.

Les colorations elles-mêmes de ces roches sont des témoins de l'indépendance de la stratification primitive et du clivage principal que les actions mécaniques y ont déterminé. Dans les schistes des Ardennes on voit souvent des bandes de différentes couleurs parallèles traverser cette direction de fissilité. Ces bandes étaient incontestablement parallèles à la stratification qu'elles permettent même de retrouver à travers les directions de fissilité, avec les quelles on pourrait la confondre au premier abord. Quant aux mouvements qui ont transformé la structure de ces roches, on peut toujours en déterminer la direction au moyen des ellipses isothermes, puisque sur la face du clivage principal, perpendiculaire à l'action de la force motrice, le plus grand axe de l'ellipse est parallèle au longrain ou à la direction de cette force.

Le tableau suivant donne quelques exemples de la composition chimique de ces roches prises en bloc.

COMPOSITION CHIMIQUE DES PHYLLITES ET PHYLLADES EN BLOC.

LOCALITÉS	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	CaO	MgO	K^2O	Na^2O	H^2O	Densité	AUTEURS
Phyllites Urthonschiefer.											
Eichgrund, en Voigtland, Saxe, brillante	59,385	22,069	»	6,816	0,236	3,608	3,849	2,100	3,47!	2,64	Carius.
Bothwaltersdorf, Silésie, noirâtre, brillante	61,72	19,55	»	8,55	0,55	1,08	4,80		3,74	»	Bischof.
Haarsjö, Röraas, Norwége, éclatante, dure	79,21	14,49	3,24	»	»	0,72	3,57		«	»	Kjérulf.
Neissenwehr, comté de Glatz, alterne avec schistes verts feldspathiques; calcaire 13,8; smithsonite, 3,72; sidérose 0,9.	47,74	2,64	»	17,94	7,81	1,79	3,60		»	»	Kjérulf.
Phyllades primaires et secondaires.									Eau et charbon		
Angers, Maine-et-Loire	57	20,10	»	10,98	1,23	3,30	1,36		4,40	2,88	T. S. Hunt.
Monthermé, Ardennes	61,03	23,40	4,66	»	0,80	1,71	1,88	0,98	4,55	«	Sauvage.
Deville	67,38	18,22	1,12	4,71	»	3,98	2,65	»	1,74	2.788	Sauvage.
Rimogne	63,81	18,41	»	7,36	1,10	3,96	2,27	0,98	0,11	2,79	Sauvage.
Violet du Taunus à séricite, Nerothal, Wiesbaden	55,842	15,62	4,857	8,287	1,387	0,495	6,135	1,695	5,192	»	0,51 TiO^2. List.
Vénosc (houiller)?	51,8	20,7	6,4		5,1	»	»	9,6	6,1 / 0,4CO^2	«	Jannettaz.
Pont de la Saussaz, en Maurienne (houiller)	63,5	23,1	»	»	0,6	»	»	1,1	1,2	»	Jannettaz.
Rue du Préau-Sainte-Catherine à Laval, normale à la schistosité	59,58	16,95	7,27		2,43	2,8	1,6	1,9	2,1CO^2 / 5,46	»	Jannettaz.
Rue du Préau-Sainte-Catherine à Laval, parallèle à la schistosité	69,7	17,25			»	»	6,2		4,5	»	Calcaire 1. id.
Werfen, Bavière, triasique	66,8	7,8	9,6	»	9,8	traces	»	»	5	»	Von Rath.
Bourg d'Oisans, lias dans le calcaire (32 $CaOCO^2$)	61	24	»	»	1,5	0,6	6,1		»	»	Jannettaz.
Phyllades tertiaires.											
Saint-Julien-de-Maurienne dans le calcaire nummulitique	59,2	19,4	»	»	5	1,8	»	8,1	6,7	»	Calcaire 28 %. id.

Sauvage a observé que les schistes d'un vert grisâtre de Deville abandonnent 12,36 o/o à HCl, puis 43,34 à l'acide sulfurique concentré bouillant et à la potasse; le reste 44,3 o/o de la masse consiste en quartz et en un minéral alcalin. Il a constaté aussi que ceux de Monthermé perdent 21,59 dans HCl; 45,49 lorsqu'on les traite par l'acide sulfurique concentré, puis par une dissolution de potasse; il reste 32,92 de la roche employée étant un mélange de sable et de paillettes de feldspath. List, auquel on doit l'analyse des schistes verts du Taunus, a pu en dissoudre 17,889 en les traitant d'abord par de l'acide chlorhydrique étendu, puis par une dissolution concentrée de carbonate de soude; l'acide concentré dissoudrait environ 16 o/o d'oxyde de fer. Les 81 o/o non attaqués se composent de sérécite et de quartz; environ 2 fois et demie plus de sérécite que de silice libre.

Nous avons constaté que les phyllades à schistosité perpendiculaire à la pression (du carbonifère de la rue du Préau-Sainte-Catherine, à Laval), ne perdent que 8 o/o dans HCl, mais sont complètement attaquables par l'acide sulfurique concentré.

Au chalumeau, ces roches se comportent de manières très différentes. Celles qui sont riches en oxyde de fer deviennent plus ou moins rougeâtres; ces variétés, que ternit leur mélange avec une trop grande quantité de particules charbonneuses, prennent souvent un éclat nacré, lorsqu'on les décolore, en les portant à une température suffisante pour brûler leur charbon (Ex. Ph. maclifères des environs de Luchon, Hautes-Pyrénées). Leur poussière a le toucher doux. Ils fondent au chalumeau, tantôt difficilement (P. de la Tarentaise, des environs de Lamure, Isère; P. maclifères des Pyrénées ou de la Bretagne), tantôt facilement (P. à cassure esquilleuse des Pyrénées; de Laval, Fumay, Ardennes), quelquefois en s'exfoliant (P. de la Nouvelle-Calédonie).

(1) Voy. Carius. *Ann. Ch. Ph.* 94.53. 1855.— Bischof Lehrb. *Chem. geol.* 2. 993 et 995. 1851. — Kjerulf. *I. pr. Chem.* 65. 194. 1855. — T. S. Hunt. *Phil. Magas.* (4) 7. 237. 1854. — Sauvage. *Ann. min.* (4). 7. 420. 1845. — Jannettaz. *Bull. soc. géol. Fr.*, 3e série, t. IX, p. 207, t. XII, p. 219 et suiv.

Phyllites. — Roches schisteuses, grises, d'un gris verdâtre, jaunâtre, bleuâtres, parfois d'un bleu foncé, rougeâtres, violacées, quelquefois noires, à éclat soyeux, nacré sur les faces de clivages. Leurs éléments forment comme une sorte de pâte où l'on a pu discerner ensemble, ou les uns saus les autres, comme éléments essentiels; des micas voisins des **séricites** en paillettes ou en membranes; des **chlorites**, du **quartz** en nodules, en lentilles, en filaments circulaires, formant quelquefois avec du mica et surtout de la chlorite des nodosités transversales, des **feldspaths**, surtout les *calcosodiques* simples ou groupés, à contours mal définis, des oxydes de fer, surtout l'oligiste, enfin une matière amorphe qu'on croit être un silicate d'alumine hydraté. On y rencontre aussi des matières cristallisées nombreuses résultant sans doute d'apports postérieurs à la formation de la roche primitive; avant tout en assez grande abondance du rutile en prismes très déliés et simples, ou montrant les groupements ordinaires de cette espèce et particulièrement celui qui caractérise la variété appelée *sagénite*, ordinairement des très petites aiguilles de *tourmaline*, quelquefois terminées par des sommets rhomboédriques, du *calcaire*, de l'*épidote*, moins fréquemment de l'*amphibole*, de l'*apatite*, des *grenats*, et plus rarement encore du *sphène*, des matières charbonneuses, et souvent visibles à l'œil nu, de la *pyrite*, de la *magnétite*, de l'*oligiste*.

Quelques-uns de ces schistes contiennent certaines espèces minérales bien cristallisées, en assez grande abondance pour recevoir des noms particuliers.

Schistes maclifères. — La macle parfois en cristaux imparfaits remplace presque entièrement le quartz; elle forme quelquefois de simples taches; souvent elle se présente en cristaux qui offrent dans leurs sections les mélanges de parties noires et blanches caractéristiques (voy. andalousite) et qui soulèvent autour d'eux la roche aux feuillets de laquelle ils donnent un aspect bossué, raboteux, ou bien qui se fondent peu à peu dans la masse.

Schistes graphiteux. — Ils contiennent du graphite en lamelles

ou en petites masses lenticulaires, quelquefois en grande abondance.

Schistes à dipyre. — J. de Charpentier avait indiqué de très petits cristaux arrondis de dipyre dans un schiste noir sur la rive droite du Lès, à peu de distance de la forge d'Angoumer, près de Luzenac (Ariège). On connait aussi des cristaux d'un lilas clair, disséminés dans une matière argilo talqueuse, renfermant des blocs calcaires, et formant l'ilot de Labarens, près Mauléon (1).

Schistes à séricite (sericitschiefer, *sericitphyllit*). — Roches à schistosité fine, à teintes claires, à éclat gras, talqueux, mais essentiellement formées de silice, d'alumine et de potasse sans magnésie. Elles font partie de la zone de contact des schistes argileux et du granite. Elles sont composées d'une pâte cryptocristalline uniréfringente, qui relie entre eux de nombreux grains de quartz et des lamelles ou esquilles de séricite tapissant la surface des plans de schistosité. La roche fond difficilement au chalumeau en émail nébuleux. M. Credner a observé dans la pâte des séricitphyllites des environs d'Hainichen des microlithes et des trichites en très grand nombre.

Schistes à ottrélite. — A Ottrez, près Stavelot, à la frontière de la Belgique et du Luxembourg, dans la vallée d'Ossau, Basses-Pyrénées, les schistes siluriens renferment en assez grande abondance des lamelles hexagonales d'ottrélite. Ceux de Berge-Enveloppe, près Monthermé et d'autres localités des Ardennes en contiennent aussi en paillettes entièrement fines, souvent microscopiques. Accessoirement, mica d'un blanc d'argent. Une variété violette de cette contrée est colorée par des oxydes de fer et contient de la chlorite et un peu de calcaire.

Schistes à masonite de Taulé, Finistère. — Ce serait des talcschistes renfermant la substance minérale appelée masonite. A Natic-Rhode, Islande, on trouve la masonite dans un schiste argileux.

(1) V. Des Cloizeaux. *Manuel de minéralogie*, t. I, p. 232.

Schistes à phyllite. — Schistes cristallins des monts Notre-Dame, au Canada, renfermant la matière appelée phyllite par Sterry Hunt, en masses lamellaires, en agrégats sphéroïdaux formés de lames clivables à éclat vitreux, sur les faces de clivage, gros dans les autres directions de cassure.

Schistes à sismondine. — Sorte de schistes chloriteux renfermant la sismondine en petites masses feuilletées, en lames ondulées.

Schistes à chloritoïde. — M. Barrois a montré que dans l'île de Groix (1) les schistes cristallins fort étendus, qui occupent presque en entier la presqu'île de Rhués, contiennent en grand nombre des lamelles d'une matière qui a tous les caractères de la chloritoïde $H^2FeMg(Al^2)SiO^6$, clinorhombique, à clivage basique, où l'angle des 2 axes optiques $2V = 45$ à 50° $\rho > v$; la dispersion y est horizontale, la bissectrice aiguë presque normale à la base. Pléochroïsme intense, vert olive suivant n_g; bleu indigo suivant n_m, jaune verdâtre suivant n_p.

On rencontre des schistes au Massachusets où la chloritoïde se présente en lames d'un vert sombre.

Leptynolithe. Cordier. Roche plutôt schistoïde que schisteuse. Elle est composée d'orthose granuleux, de très petites paillettes de mica, avec taches de macle et quelquefois colorée en noir par du graphite.

Schistes à paragonite. — Roche à facies talqueux, de monte Campione au Saint-Gothard, à structure schisteuse, à cassure écailleuse ou compacte, à poussière onctueuse, assez tendre pour être rayée par l'ongle. Densité, 2,15. — La **paragonite**, silicate d'alumine et de soude, en est l'élément essentiel sous la forme de paillettes hexagonales ou de petites bandelettes dans la roche, qui renferme les beaux prismes allongés de *disthène* bleu, souvent groupés avec des prismes nettement cristallisés de *staurotide* brune ou s'entrecroisant avec eux; elle y a pour densité 2,77. Il

(1) *Bull. Soc. min. de Fr.*, t. VII, p. 37.

s'y mêle du *lépidomélane*, mica noir de corbeau, noir bleuâtre en sections minces, à éclat adamantin, presque métallique, quelques cristaux verdâtres très dichroïques d'épidote ou d'amphibole, et, d'après von Lasaulx, une quantité considérable de très petits microlithes semblables à des stries parallèles ou croisées.

Nous avons analysé une roche à structure fibreuse qui se trouve pincée dans le calcaire carbonifère de Changé, près Laval (Mayenne), et qui se compose essentiellement d'une masse à éclat gras, à poussière aussi onctueuse que celle du talc, d'un blanc verdâtre, facile à rayer par la pointe d'un burin, assez facilement fusible au chalumeau en émail blanc, attaquable par l'acide sulfurique concentré, se transformant à peu près complètement en silicate gélatineux, lorsqu'on la traite par une dissolution chaude de carbonate de potasse, offrant la composition chimique et la densité de la paragonite du Saint-Gothard, et décomposable à un fort grossissement au microscope en fibres courtes, isolées, fusiformes, qui s'éteignent parallèlement à leur longueur, entre deux nicols croisés. La paragonite est généralement mêlée dans cette roche de cristaux de quartz bipyramidé à dimensions assez grandes pour être reconnaissables à l'œil nu (1).

Sa densité est de 2,765. Elle est composée de : silice 47,2 ; alumine 37,7 ; soude 64 ; potasse 3,6 ; eau 5,2 et sa formule chimique peut s'écrire $(K^2,N^2,H^2)OAl^2O^3 2SiO^2 = (K,Na,H)AlSiO^4$. Dans son *Traité de géologie*, p. 694, M. de Lapparent a cru devoir donner à cette roche le nom de *blaviérite*, en l'honneur de Blavier, qui a publié un ouvrage estimé sur la géologie de la Mayenne. Mais Blavier la regardait comme une stéatite. La blaviérite se kaolinise par places et quelquefois elle est colorée en noir par une matière anthraciteuse. Au quartz bipyramidé s'y mêle du quartz grenu.

Phyllades de d'Aubuisson (*Schistes argileux*, *killas*).

Roches schisteuses ayant la même composition que les phyllites

(1) E. J. *Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3e série, t. X, p. 396.

avec un peu plus d'éléments clastiques, c'est-à-dire de sable quartzeux, un aspect plus mat. La masse fondamentale paraît encore se rapprocher de la séricite ou de la pyrophyllite. Les éléments accessoires sont encore les mêmes et y présentent les mêmes caractères microscopiques. Le rutile y semble encore plus abondant; la tourmaline, quoique moins abondante, y est très caractéristique, mais en cristaux qu'on n'aperçoit qu'à de forts grossissements.

Dans les phyllades rouges il y a du fer oligiste, dans les noires des matières charbonneuses. Le quartz y brille souvent de couleurs vives en lumière polarisée sur le bord des plages ordinairement irrégulieres qu'il occupe, où il est mêlé de mica; il contient quelquefois des bulles mobiles.

M. Barrois a signalé des petits cristaux de fedlspath très nets dans les schistes de Horns (Asturies). Aux environs de Leifour (Ardennes), les cristaux de feldspath donnent au schiste l'aspect d'un porphyre. On y observe aussi une matière monoréfringente en membrane extrêmement mince, que les uns croient être une variété d'opale, mais qui est sans doute une matière micacée, trop mince pour agir en lumière polarisée. Dans certains phyllades, par exemple aux États-Unis, cette matière est prédominante dans la roche.

Les phyllades présentent beaucoup plus fréquemment que les autres roches les deux clivages produits par les pressions latérales pendant les convulsions du sol. Aussi ces roches fournissent-elles les ardoises les plus estimées, celles qui sous une très faible épaisseur conservent assez de ténacité pour servir à la couverture des toits (*schistes tégulaires*).

Schistes lustrés de la Tarentaise. — Le quartz y est associé à la séricite et souvent à du calcaire; le tout est ordinairement cimenté par du feldspath qu'on rapporte à l'albite.

Schistes du carbonifère. — Les schistes de la rue du Préau-Sainte-Catherine, à Laval, m'ont paru consister en fibrilles de pyrophyllite mêlés à un peu de sable quartzeux et à des grains de feldspath; le tout coloré par un peu de limonite; dans la partie

où la schistosité est perpendiculaire aux bancs, la pyrophyllite se rassemble en sortes de membranes parallèles à la schistosité.

Dans les schistes de Vénosc (Isère), on retrouve aussi des fibrilles, mais s'éteignant à 30 degrés de leur longueur, et ressemblant à des lames rhombiques d'une substance micacée, allongées suivant la petite diagonale de la base.

Dans les schistes de Bourg-d'Oisans, on voit au microscope une grande quantité de grains de calcaire qui brillent des plus vives couleurs au milieu d'une argile où l'on distingue aussi une substance fibreuse, qui s'éteignent en lumière polarisée parallèlement à leur longueur.

La proportion d'alcalis et surtout de soude toujours considérable dans ces sortes de roches, que j'ai retrouvée assez grande encore dans les calcaires schisteux de nummulitique de Saint-Julien de-Maurienne, montre que ces roches ont dû recevoir des apports souterrains de vapeur d'eau et de sources minérales, qui, aidées d'une haute température et d'une pression considérable ont déterminé la cristallisation d'une partie plus ou moins grande des éléments.

En Allemagne, on appelle *griffelschist* des roches schisteuses qui présentent deux directions de fissilité à peu près égales et qu'on peut, à cause de cela, diviser facilement en baguettes, par exemple au Felberg, entre Steinherde et Sonnenberg, Thuringerwald.

Novaculite (coticule, pierre à rasoir, à calumets, *razor-hone*, angl.; *rasirmesserstein*, all.). — Phyllade imprégné de silice qui en augmente la dureté, qui la rend moins fissile et qui lui donne une cassure un peu conchoïdale.

Les schistes d'Ottrez passent souvent à cette variété.

Gisements. — Les phyllades enveloppent les micaschistes et se moulent sur eux. La plupart appartiennent aux terrains de tran-

(1) P. Renard. *Mémoires savants étrangers*, *Académie de Belgique*, 1878.
(2) Kalkowsky. *Die Thonschiefernadelchen*; *Neues Jahrb.*, 1379, 382.
(3) Mallard. *Bull. Soc. min. de Fr.*, t. III, 1888, p. 101.

sition; l'on en connaît quelques-uns tout à fait exceptionnels dans la formation crétacée du Caucase et dans le Flysch (éocène de la Suisse). A l'autre extrémité de la série des roches stratiformes ils alternent avec les schistes chloriteux et talqueux, dans plusieurs parties des Alpes du Salzbourg, en Styrie, en Silésie, etc., avec des grès, des argiles, des calcaires, en Bohême, en Angleterre, dans le Hartz. Ils constituent des masses puissantes, plissées, ondulées, parfois redressées en escarpements abrupts et stériles. Des régions, considérables dans les Ardennes, la Bretagne, l'Angleterre, les Pyrénées, les Alpes, la Bohême, l'Altaï, etc., sont entièrement composées de ces schistes.

Argiles schisteuses (Clay-state, angl. Schiste commun). — Roches à texture éminemment schisteuse, composées surtout d'argile indélayable dans l'eau, mêlée souvent de mica en paillettes plus ou moins visibles à l'œil nu, et ordinairement de grains de quartz. Ce sont des silicates d'alumine, qui renferment ordinairement de 4 à 5 o/o d'eau, et quelquefois davantage. Souvent les schistes des terrains de transition offrent nettement cette fissilité particulière, qui a été appelée le clivage, dans les phyllades; ils sont aussi très compacts, et leur surface de cassure est lisse. Mais en général ils sont plus mous, et leur toucher est un peu plus gras; ils n'ont plus autant de cohérence, de sonorité; ils sont plus ou moins ternes et prennent l'aspect terreux, surtout lorsqu'on les a décarburés par la chaleur. Ils contiennent plus d'éléments clastiques que les phyllades. Ceux des terrains supérieurs ont un grain de plus en plus grossier; ils sont plus friables, et leur stratification devient plus apparente. C'est à ceux-ci qu'on pourrait appliquer la dénomination d'*argiles schisteuses*. Quelquefois, des paillettes de mica, répandues abondamment sur leur surface de cassure, leur donnent un certain éclat (schistes des terrains houillers); mais l'on reconnaît facilement le fond terne sur lequel scintillent ces points brillants.

Nous avons eu occasion d'examiner des schistes houillers des environs de Vernayaz, dans la vallée de Salvan. Ils offrent le grain

le plus grossier et la texture la plus compacte. Ceux à gros grains, difficilement fusibles au chalumeau, sont formés des éléments du granite, mica en membranes ondulées, en lamelles hexagonales, quartz granuleux, avec plages vertes, d'une matière chloriteuse. Dans les variétés à grains fins, on observe des grumeaux bruns d'une matière argileuse mêlés à des fibres vertes d'une matière chloritoïde qui s'entrecroisent avec d'autres incolores qui paraissent se rapprocher de la pyrophyllite, ou mieux encore de la paragonite.

Ces roches sont fusibles au chalumeau. Elles contiennent souvent des matières charbonneuses, ou même des bitumes. L'on y rencontre aussi de la *pyrite*, de la *blende*, de la *galène*, des rognons de *fer carbonaté lithoïde* (terrain houiller), des empreintes de poissons à écailles, remplacées par des sulfures de cuivre (schistes bitumineux noirs, cuprifères ou kupferschiefer du Permien). Elles forment des couches importantes colorées en rouge par de l'oxyde de fer, dans l'étage des grès bigarrés, dans celui du Keuper. L'on en a retrouvé dans la formation des lignites de la Bohême. On a observé des cristaux microscopiques d'anatase dans les schistes argileux du muschelkalk de Wursbourg (Credner).

On peut classer parmi les argiles schisteuses proprement dites celles du dévonien, du trias, grès bigarrés, argiles ou marnes irisées qui doivent leurs irisations surtout à des oxydes de fer.

Argilite. — On donne quelquefois ce nom à des schistes argileux compactes, très riches en silice.

Ampélite (*Schiste alumineux, ampélite graphique, alaunschiefer*). — Schiste argileux, tendre, mat, noir, imprégné d'anthracite pulvérulente, et de pyrite, dont le soufre s'oxyde et forme un sulfate soit avec le fer qui lui était combiné, soit avec l'alumine de la roche. Les sulfates auxquels donne lieu sa décomposition facile la font employer comme amendement pour la vigne. Lorsque la proportion de carbone y est considérable, l'ampélite est utilisée comme crayon noir.

Dans ses cavités la roche renferme des cristaux de barytine, de

quartz, de pyrite ou de marcassite; elle est souvent riche en matières organiques.

Euritine, Cordier (*adinole* de plusieurs auteurs, *halleflint*, *felsitschiefer*, hornschiefer de Lossen, *porphyroïde* de Zirkel).

Schistes à grands traits, souvent plutôt veinés que feuilletés, finement grenus, à teintes claires, difficilement fusibles au chalumeau, d'une grande dureté, à cassure finement esquilleuse, souvent un peu conchoïdale, compactes ou grenus, composés essentiellement d'une masse microcristalline, de quartz et de feldspaths calcosodiques, ou d'albite et de microcline, qu'on aperçoit quelquefois en cristaux très petits, quelques grains de *magnétite*, et, comme produits de décomposition, de la *chlorite* et des oxydes *de fer*. En s'adjoignant quelques paillettes de mica, ils passent aux micaschistes.

D'après Credner (1), les cristaux de feldspath sont couchés sur leur face g^1, parallèlement aux plans de schistosité. D'après Zirkel, ils contiennent des microlithes d'un élément caractéristique des phyllades, la *tourmaline*. L'élément micacé est séricitique.

Éléments accessoires : *magnétite*, d'un noir bleuâtre en lumière réfléchie ; *hématite*, *chlorite*, *mica* et surtout *séricite*. En bloc, ils renferment environ 75 o/o de silice, 12 d'alumine, 6 à 7 o/o de soude, un peu d'oxydes de fer, de chaux, de magnésie, etc.

Credner a observé ces schistes aux environs d'Hainichen, en formation indépendante, de l'âge des phyllites et passant, dans leur partie inférieure, aux micaschistes qui recouvrent comme un manteau la formation de granulite. Ils paraissent également indépendants des roches éruptives dans le Taunus.

A l'euritine se rattache l'adinole.

Adinole. — Beudant, Min. t. II, p. 126, a donné ce nom à un pétrosilex de Salberg, difficilement fusible en émail blanc au chalumeau et contenant : silice 79,5 ; alumine 12,2 ; soude 6 ; magné-

(1) Credner. *Das Grünschiefer System von Hainichen*. Zeitschrift für die Gesellschaft der Naturw. Halle, 1876.

sie 1,1 ; oxyde de fer 0,5 de Salberg, Suède. Des Cloizeaux regarde cette matière comme un mélange d'albite et de quartz, et comme formant une roche intercalée dans les schistes cristallins et siliceux. Zirkel la considère comme une roche distincte qui accompagne les schistes siliceux (Hartz), mais qui se rencontre également au contact des schistes et des diabases grenues.

Phtanites (*Schistes siliceux*). — Sorte de jaspe noir, ou mieux, de quartz compacte, mêlé d'argile, de carbone et de sesquioxyde de fer. Les couleurs dominantes de ces matières sont le noir, le brun, le verdâtre, qui s'associent suivant les dispositions les plus variées. Souvent les phtanites ressemblent au pétrosilex; mais ils sont infusibles. La proportion de silice y atteint 96 0/0, ou bien elle descend au-dessous de 75 0/0 (passage à l'argilite).

Cette roche présente souvent des feuillets d'une très faible épaisseur; elle abonde dans les terrains de transition, surtout au voisinage des mélaphyres (Bohême, forêt de Thuringe, etc.); dans le carbonifère (Belgique); elle se rencontre aussi dans les terrains secondaires.

Les phtanites passent souvent au schiste argileux ou aux quartzites.

Hornstein. — On réserve ce nom à un schiste siliceux, compacte, infusible, contenant quelquefois de la dolomie, mais formé en grande partie d'éponges, de radiolaires et de diatomées.

Roches métamorphiques de contact.

Certaines roches sédimentaires ont reçu des apports qui les ont métamorphisées; elles ne présentent plus de schistosité indépendante de la stratification; on les rencontre en général au contact de roches éruptives.

Hornfels Werner (*Cornéenne, Roche de corne*). — C'est une roche compacte, dure, à teinte claire en général, à cassure finement esquilleuse et d'aspect corné. Cordier a réservé le nom de hornfels à des roches intercalées dans les terrains cumbriens et

dans les parties inférieures du silurien, fusibles au chalumeau en verre clair parsemé de points noirs, ayant pour densité 2,79 et qu'il regardait comme composées de feldspath compact et de mica noyés dans un ciment quartzeux. Les hornfels n'ont pas tous la même composition. Un certain nombre semblent avoir pour fond une pâte de micaschiste. Un des mieux étudiés, peu fusible, est celui qu'on voit au contact du massif granitique du Ramberg. D'après Rosenbusch, il est formé essentiellement de **quartz, mica magnésien** avec *magnétite*. Il renferme en même temps de l'andalousite en prismes rhombiques, presque carrés, qui s'éteignent suivant leurs diagonales, et des sections rectangulaires qui s'éteignent suivant leurs côtés. On y rencontre aussi des cristaux de *quartz* et de *cordiérite*. Ces cristaux englobent une matière visible et jaunâtre pour certaines directions, invisible pour d'autres en lumière naturelle, qui leur communique en lumière polarisée un polychroïsme intense rappelant celui que Senarmont a donné artificiellement à des cristaux incolores par eux-mêmes au moyen de teintures ; c'est un pigment organique qui disparaît quand on en élève suffisamment la température.

Lossen, qui a examiné, de son côté une de ces pierres provenant du flanc oriental du Ramberg, l'a décrite comme composée d'une masse fondamentale, limpide, dont on ne peut affirmer provisoirement la nature opaline, et qui contient un grand nombre de très petites paillettes de mica.

Pour Rosenbusch, on n'y trouve du feldspath qu'exceptionnellement. Dans ce cas, le feldspath proviendrait du granite.

Lossen critique la dénomination de hornfels appliquée à des masses qui n'ont de commun que leur facies définitif, et qui dérivent de roches originairement très différentes, telles que des schistes argileux, des grauwackes, etc.

Spilosite. *Zircon.* — Cette roche se trouve au contact des schistes et des diabases ; elle se distingue de la précédente par sa teneur généralement faible en quartz. Von Lasaulx et Lossen ont étudié des échantillons du Hartz. Lossen a examiné spécialement

la spilosite de Heinrichbourg; il y a reconnu d'abord une masse fondamentale transparente, uniréfringente, qu'il regarde comme pouvant être un silicate à l'état amorphe, et empâtés par le ciment de nombreux éléments cristallins et des nodosités.

Les premiers consistent en : 1° innombrables petites paillettes de mica ayant toutes leurs bases parallèles à la schistosité, même dans les enveloppes concentriques ou tangentielles qu'elles forment autour des nodosités; 2° petits amas d'un vert jaunâtre de petites paillettes de **chlorite**, moins transparentes et moins vivement colorées que celles du mica, et formant des espèces de pelotons semblables aux nodosités véritables; 3° petits flocons troubles, opaques, d'un gris noirâtre, mais d'un gris verdâtre et translucides sur les bords en lumière transmise à un plus fort grossissement, qui sont sans doute un mélange de chlorite et de débris terreux de la roche échappés à la transformation générale; 4° petits grains noirs, mats, vraisemblablement organiques.

Les nodosités, verdâtres ou d'un vert jaunâtre, sont de petits disques transparents à bords foncés, circulaires, ovales ou irréguliers, qui renferment le silicate amorphe limpide et les substances décrites aux numéros 3 et 4.

Rosenbusch a retrouvé dans les spilosites du Hartz toutes les matières décrites par Lossen, excepté le silicate des masses transparentes qui lui paraissent composées de paillettes de mica d'une petitesse extrême. Enfin, on reconnaît dans ces roches la présence de petits grains et de petites aiguilles de quartz, d'albite et d'actinote.

Leptynolithe. — Ce nom a été donné par Cordier à une roche, qui est, à l'égard des minettes, ce que le gneiss est à l'égard des granites. Cette roche, d'un gris plus ou moins noirâtre, schistoïde ou tabulaire, est formée surtout de **mica**, auquel s'associe du **feldspath**. Elle se rattache aux schistes cristallisés.

Souvent elle est comme maculée par une matière noire extérieurement, mais blanche dans la rayure. Elle prend alors le nom de *schiste tacheté*, dont les taches produites par une matière orga-

nique, comme l'a montré Rosenbusch, ont la forme de gerbes, de mouchetures (*garbenschiefer, fleckenschiefer* des auteurs allemands). Les colorations sont dues à de l'ocre jaune dans les roches de Tirpersdorf, près Oblitz.

Le plus souvent ces sortes de schistes contiennent peu de feldspath. Leur composition minéralogique les rapproche des micaschistes; mais ce sont des modifications de schistes argileux au contact des granites.

Ceux de Wesenstein et de Weckselbourg, en Saxe, consistent, d'après Lasaulx, en un mélange de paillettes très fines d'un minéral voisin du talc ou du mica, avec petits cristaux verts à bords aigus empâtés dans un ciment quartzeux. Les concrétions en sections minces paraissent essentiellement formées de fragments de mica enveloppé par ces taches foncées et par une zone brune de décomposition. C'est là que s'est concentrée la matière colorante (1).

Les schistes tachetés prennent quelquefois la forme de *schistes noueux*, qu'on peut appeler *schistes argileux à nodosités* (*knotenthonchiefer*), ou *schistes micacés noueux* (*knotenglimmerschiefer*), suivant leur richesse en mica. Il est vrai que les derniers sont beaucoup plus cristallins que les autres; mais la structure cristalline résulte d'actions postérieures à l'époque où la roche a été formée pour la première fois. Celle-ci était primitivement un schiste argileux, qui est devenu cristallin au contact des granites. Rosenbusch, qui a étudié de près cette transformation, y distingue trois stades qui donnent lieu à trois zones successives de schistes de plus en plus modifiés à mesure qu'on se rapproche de la masse éruptive.

La première est celle des *schistes argileux noueux*.

Ceux-ci ne diffèrent des schistes normaux que par une teinte en quelque sorte éclaircie, par suite du retrait de leur pigment qui va s'entasser dans leurs nodosités. Quant aux nodosités, elles sont

(1) *Neues Jahrbuc für Mineralogie*, 1872, p. 840.

identiques, pour leur composition et leur constitution essentielles, au schiste qui les renferme.

Dans des cas rares, elles sont formées de dipyre ou d'andalousite (Bretagne, et zone de contact de Kirchberg, dans l'Erzgebirge).

La deuxième zone, celle des *schistes noueux micacés*. Le grain de la roche devient plus grossier; les silicates hydratés, tels que la chlorite, disparaissent; la roche prend un caractère micacé; elle consiste essentiellement en **quartz** et en **mica**, incolore, vert ou brun. Le pigment s'y condense en des points isolés, variables, de ses nodosités.

Éléments accessoires : généralement la *staurotide*, pléochroïque, et suivant les régions, la *cordiérite*, l'*andalousite*, la *tourmaline* qui forme avec le quartz une roche qu'on pourrait appeler *hornfels* à *tourmaline*.

La troisième zone est celle des *hornfels*.

Schalstein. — Roche composée d'une masse fondamentale grise, verte, brune, rouge, à éclat gras, parfois terreux, fibroschisteuse, quelquefois simplement veinée, qui empâte des fragments de schiste argileux noir ou verdâtre et des cristaux ou des grains de feldspath en même temps qu'une assez grande abondance de grains arrondis ou de nodosités de calcaire blanc ou rouge.

Cette roche se divise par le choc en fragments écailleux; c'est ce qui lui a fait donner le nom de schalstein par les tailleurs de pierres.

Elle contient souvent des cristaux de *pyrite* plus ou moins altérés en limonite, d'*oligiste*, de l'*anthracite*. Dans ses fentes et ses cavités elle montre des cristaux drusiques d'épidote, de quartz et de carbonate de chaux, de fer, de magnésie, parfois de fluorine, de barytine, d'oligiste, d'anatose, parfois de l'osbiste. Le schalstein de Nassau renferme, parmi un grand nombre d'autres fossiles dévoniens, le *stringocephalus Burtini*.

Geysérite (*kieselsinter, kieseltuff.*) — Plus ou moins compacte, souvent friable, en formes de stalactites, d'incrustations, de

concrétions disposées par zones, en choux-fleurs, etc. Couleur variant du blanc de neige au grisâtre, au jaunâtre, au bleuâtre, au rougeâtre; texture souvent vacuolaire.

CHAPITRE IX

ROCHES CONGLOMÉRÉES

Les roches sédimentaires sont formées d'éléments qui proviennent de la désagrégation de roches plus anciennes; ces débris constituent ce qu'on appelle leurs éléments *clastiques*; ils sont souvent arrondis par le frottement mutuel qu'ils exerçaient les uns sur les autres au milieu des masses liquides qui les charroient de régions élevées du sol vers d'autres plus basses.

Lorsque ces fragments se déposent isolément en s'entassant les uns sur les autres, sans rien qui les relie, on les appelle masses détritiques, sables, arène.

Sables (*sand*, angl. et all.). — On appelle ainsi des grains de différentes substances minérales, et plus particulièrement de quartz, qui sont restés isolés, indépendants les uns des autres. Pur, le sable quartzeux a pour densité 2, 6. Les grains ont des contours irréguliers, rarement quelques facettes cristallines.

Le sable est l'élément principal, souvent unique, du sol mouvant des dunes et des déserts; c'est la matière principale des alluvions déposés par les rivières; c'est l'un des éléments nécessaires de terres arables; aussi est-il employé à l'ameublissement de celles qui sont trop compactes.

Il est souvent mêlé de mica, qui en divise les masses en petits lits parallèles; souvent aussi incrusté ou pénétré d'oxydes de fer

(sables ferrugineux). Dans les régions granitiques, mêlé au feldspath, au mica, il entoure les granites, il les coiffe comme d'un chapeau sans consistance (*arène*, *sable d'arkose*) ; la désagrégation s'y observe parfois sur plus de 30 mètres d'épaisseur.

Le sable est parfois mélangé de petits grains de grenat brisés et de grains d'autres gemmes, ou de fer titané, d'oxyde d'étain, etc.

Lorsqu'il renferme des galets de quartz, des cailloux de silex, on l'appelle *gravier*.

Les dépôts de sable sont appelés ordinairement alluvions.

Outre le quartz, ils contiennent souvent des cristaux, plus ou moins complets, quelquefois arrondis, de diverses matières. Les alluvions de l'Inde, du Brésil, sont célèbres par leur richesse en gemmes si estimées dans la joaillerie; celles de la Californie, de l'Oural, de l'Australie, celles d'un grand nombre de rivières sont fouillées et lavées par les chercheurs d'or ou de métaux blancs.

On sait que les dunes sont formées de sable jeté par la mer sur ses rivages et repris par le vent qui chasse devant lui leurs collines successives, de plus en plus basses, dans l'intérieur des terres.

Sables dits éruptifs. — Dans la faille que présentent les assises tertiaires, de Vernon à Perdreauville, Eure, MM. Potier et Douvillé (1) ont repris l'étude du sable granitique signalé d'abord par de Senarmont dans sa description géologique du département de Seine-et-Oise, puis par Passy dans sa carte géologique de l'Eure. Les grains de quartz, brisés, à angles émoussés, proviennent de roches granitiques, quelques-uns, bipyramidés, de roches porphyriques; ils sont réunis par un ciment argileux qui se délaie dans l'eau en laissant les grains de quartz libres. L'injection de ces sables est postérieure aux dépôts du calcaire de Beauce. M. Stanislas Meunier (2) a étudié les sables kaoliniques signalés par M. Ch.

(1) Potier et Douvillé. *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, 6 mai 1872. — *Bull. Soc. géol. de France*, série 2, t. XXIX, p. 472.

(2) St. Meunier. *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, 30 août 1877.

Velain à Montainville; ils sont formés d'une partie argileuse et d'un gravier de quartz parfois bipyramidé et renfermant des inclusions liquides et gazeuses, mêlés à des grains de silex, de grès, de feldspath, à des corps organisés silicifiés. M. St. Meunier regarde ces sables comme éruptifs à la manière du sable glauconieux apporté par les eaux jaillissantes de nos puits artésiens de Grenelle et de Passy. M. Fabre (1) a rencontré dans les fentes des causses de la Capelle, de Sauveterre et de Sainte-Emmic, en même temps que les argiles éruptives à Beauxite, des grains de quartz hyalin, anguleux, frais, mêlés à des paillettes de mica blanc argentin, à des fragments anguleux d'orthose frais ou quelquefois kaolinisé, et à des grains de tourmaline noire. M. G. Fabre avait déjà observé sur le bord du plateau de Plessis-Picquet un amas de sable grossier quartzeux blanc mêlé de kaolin et bariolé de veines d'un rouge vif.

Galets. — On donne ce nom en général à des morceaux de quartz ou de silex roulés que la mer apporte sur ses rives où ils s'entassent en amas, quelquefois échelonnés en assez grand nombre les uns derrière les autres, par exemple, sur les côtes de la Manche. Souvent les sables ou les galets sont agglutinés en masses solides par des ciments de nature en général calcaire ou siliceuse. On donne à ces masses le nom de *grès* et de *poudingues*, suivant que leurs éléments détritiques ont un petit ou un gros volume.

Nous ne pouvons que citer ici les cailloux impressionnés de certains poudingues, en particulier de ceux des Vosges, dont la surface est creusée de petites cavités arrondies, les cailloux striés des glaciers, etc.

Grès (*sandstein*, all.; *gritstone*, angl.). — Roches composées de grains irréguliers, agglutinés par un ciment de nature semblable ou étrangère à la leur. L'on appelle ordinairement grès du quartz en sable, mêlé quelquefois de fragments de **feldspath**, souvent de lamelles de **mica**, consolidé par un ciment de silice, de

(1) G. Fabre. *Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3e série, t. I, p. 389 et t. III, p. 583.

calcaire, d'argile, seuls ou mélangés. Le sable a été déposé à l'état de sables ou de graviers incohérents, et agglutiné après son dépôt.

Grès quartzeux (*sandstein*, *sandstone*). — Les grains de quartz y sont généralement limpides, ou d'un blanc grisâtre, et l'emportent de beaucoup en quantité sur le ciment. La surface des granules quartzeux est presque toujours irrégulière; sur les grains de certains sables on a observé des facettes cristallines. Cela doit être d'autant plus rare que le quartz des roches a le plus ordinairement la forme de grains vitreux, à surface extérieure, sans configuration régulière apparente. Le facies du grès manifeste souvent la grosseur de son grain et la nature de son ciment.

Le *grès siliceux* offre une cassure esquilleuse ou plus ou moins conchoïdale; il est souvent translucide. Il est d'un blanc grisâtre, ou coloré par des matières étrangères. Son ciment, de nature siliceuse, peu abondant, lui donne néanmoins une grande cohérence, une grande dureté (*grès quartzeux cohérent*), souvent un éclat luisant particulier (*grès lustré*).

Dans les *grès calcarifères*, le ciment est du calcaire plus ou moins mêlé de mica, de glauconie. Il est friable. L'acide chlorhydrique dissout le ciment avec effervescence, et le grès se désagrège. Ex. : grès cristallisé de Fontainebleau, grès botryoïde d'Étampes. Si le ciment est *marneux*, l'acide laisse un résidu d'argile mêlé ordinairement de sable. Au calcaire peut être combiné du carbonate de magnésie (*grès dolomitique*). Ce grès souvent schisteux entre dans la masse des grès bigarrés, de ceux du lias. Il est d'un gris jaunâtre, souvent tacheté de noir.

Grès argileux. — Le ciment est argileux, jaune, verdâtre, rougeâtre, plus ou moins ferrifère. Ex. : les *grès rouges* à ciment argilo-ferrugineux, à grain grossier.

Grès macigno. — Autre variété de grès, à grains de quartz et de feldspath, auquel la distribution de ses lamelles nombreuses de mica sur des plans parallèles donne une texture schistoïde. La marne siliceuse d'un gris verdâtre, quelquefois noirâtre, qui lui

sert de ciment, le rend assez solide pour mériter le nom de *Pietra forte*. C'est la roche caractéristique de l'éocène italien.

Mollasse. — Grès des Alpes, à grains de quartz, moins riche en feldspath que le macigno, et mélangé de calcaire, de mica et de grains de glauconie. Le ciment calcaire ou marneux qui en réunit les éléments lui conserve cette friabilité, exprimée par son nom.

L'on voit combien sont nombreuses les variétés de grès. Nous n'avons décrit que les plus caractérisées. A chaque étage, dans chaque région, appartiennent en général des grès dont le quartz est l'élément commun, mais dont les autres éléments proviennent souvent de roches peu éloignées.

Gisements. — Les grès constituent des montagnes parfois importantes, arrondies en dômes, déchirées intérieurement par des crevasses profondes et souvent leurs blocs apparaissent comme fichés dans le sol, ou suspendues au flanc des collines, après l'oblation des roches friables au milieu duquel ils ont été agglutinés.

Grès glauconieux. — Ces grès doivent leur nom aux grains de glauconie (v. p. 368) qu'ils renferment, et qui les colorent en vert, ou en brun, lorsque le fer qu'ils renferment à l'état de protoxyde a été lui-même altéré. Ils sont assez fréquents dans le dévonien de la Russie, dans le *tourtia* du nord de la France, et en général dans le crétacé du bassin anglo-parisien, dans les sables inférieurs au calcaire grossier, dans le miocène de la Suisse.

Certains grès quartzeux, noirs, et faciles à décolorer par la chaleur, renferment aussi dans leur ciment une plus ou moins grande quantité de bitume (*grès bitumineux*).

Dans quelques grès du terrain silurien, le sable quartzeux est mêlé de débris de phyllades, ainsi que de calcaire qui forme le ciment (G. phylladifères).

Arène granitique. *Granite décomopsé*. — Les granites, surtout les plus porphyroïdes, sont assez facilement désagrégés par les influences d'inégale dilatabilité, de conductibilité différente et aussi de leur inégalité de résistance aux actions chimiques. Aussi voit-on leurs parties saillantes s'envelopper d'un manteau friable

formé par leurs éléments devenus indépendants les uns des autres jusqu'à de grandes profondeurs, par exemple autour de Royat (Puy-de-Dôme).

Leurs débris, parmi lesquels brillent des cristaux de feldspath de plusieurs centimètres de longueur, forment à leur surface mamelonnée, ou dans leurs environs des sables, quelquefois disposés en couches, que l'on nomme *arène granitique*.

Arkose. Psammite feldspathique. — Grès à grains de quartz et de feldspath. De Bonnard avait appliqué le nom d'*arkose* à toute une formation du lias inférieur de la Bourgogne qui consiste en débris de roches granitiques : **feldspath**, en cristaux frais et intacts, blancs ou rougeâtres ou en fragments de cristaux plus ou moins altérés; **mica**, en lamelles dépourvues d'élasticité, ayant l'aspect talqueux, par suite de leur altération; enfin, **quartz** à l'état de grains, en bien plus grande quantité que les deux premiers éléments; le tout agglutiné, sous la forme d'une masse solide, par un ciment qui est formé souvent de **calcaire** plus ou moins cristallin, souvent aussi d'une pâte **calcédonieuse**, semblable au **silex corné**, quelquefois d'une **argile** ou d'un **kaolin** brunâtre, provenant de roches granitiques altérées, ou enfin d'un mélange de **silex** et de **barytine** ou de **fluorine** pulvérulentes. La roche est donc, suivant la plus ou moins grande abondance des grains de quartz et la grosseur des fragments, tantôt un conglomérat, tantôt un grès. C'est le faciès du grès qui prédomine; mais, dans certains cas, l'arkose a l'apparence d'un porphyre granitoïde (*mimophyre quartzeux* de Brongniart). Quand elle renferme du mica, on l'appelle souvent *granite recomposé*.

Minéraux accessoires : *fluorine* en cubes; *barytine* en rognons, à texture radiée; *quartz*, *galène*, *pyrite*, *calcaire*. Dans l'arkose miocène, on exploite du bitume à Chamalières; nous avons rencontré dans une arkose à grains fins, à Royat, des fragments de basalte, sans doute du basalte de Gravenoire, Puy-de-Dôme. A Chateix, près de Royat, le feldspath est souvent frais et les éléments désagrégés du granite ont été ressoudés sur place, de façon

à former une masse solide, qui mérite bien quelquefois le nom de *granite régénéré*.

Dans les arkoses des terrains anciens, MM. Renard, Gosselet, Barrois ont signalé comme éléments accessoires : *tourmaline*, *zircon*, *rutile*, *grenat*, *apatite*. On a dans certaines rencontré *chlorite*, *anatase*, *zircon*, *rutile*, etc.

M. Pellat rattache au grès vosgien des arkoses verdâtres, silicifiées, très dures, infiltrées de barytine, de l'étang de la Coudre, arrondissement d'Autun.

L'arkose forme souvent des couches dans les terrains houillers de la Bavière rhénane, dans le grès bigarré des Vosges et de la forêt de Thuringe. On a donné le nom de *métaxites* à celles dont le feldspath est kaolinisé.

Aux grès se rattachent le *quadersandstein* de la Suisse saxonne, etc., à masse décomposée en blocs de forme cubique; le vieux *grès rouge* d'Angleterre; un certain nombre des bancs de l'étage des *grès bigarrés*; le *grès vosgien*, dont les grains de **quartz** incolores ou translucides, à surfaces miroitantes, souvent assez gros, mêlés de quelques grains de **feldspath**, d'un blanc mat, sont agglutinés par une pâte rouge, violâtre, ou quelquefois d'un jaune d'ocre, et de nature ferrugineuse; les *grès ferrugineux*, du vieux et du nouveau grès rouge, du keuper, du terrain crétacé, etc.

Grès argilomicacé. **Psammite** Haüy. — Assemblage de grains de quartz hyalin, de paillettes de mica, plus ou moins mêlé de grains de feldspath, agglutinés mécaniquement par un ciment de nature argileuse, et le plus souvent très schisteux. Le ciment est coloré en jaune, en rouge par des oxydes de fer, en vert, en bleu par des carbonates de cuivre, dans la plupart de ces roches dont la couleur et la nature ont fait donner à l'étage qu'elles composent le nom d'étage du *bunter sandtein* ou des *grès bigarrés*. Il est coloré en noir par des particules charbonneuses, et il empâte des grains de quartz, de feldspath, souvent kaolinisé, en même temps que des morceaux de schiste argileux ou siliceux, dans les *grès du terrain houiller* et dans les psammites du Condros.

Cordier appelait *métaxite* l'arkose à feldspath kaolinisé.

Les psammites ou grès houillers sont colorés en noir par des matières charbonneuses. Ils passent souvent, ainsi que ceux du Condros, à de véritables grauwackes. Haüy, qui a créé le nom de psammite, le regardait comme synonyme d'une partie des grauwackes de Werner. En général, on applique le nom de grauwacke à des roches dont les éléments sont plus grossiers, qui sont moins finement schisteuses et contiennent beaucoup de cavités attribuées à la disparition de grains calcaires.

Grauwacke. — Vieux nom que les mineurs allemands on donné à la roche grise, non métallifère, qu'ils rencontraient dans leurs travaux et qu'ils distinguaient à cause de sa couleur d'une autre également non métallifère qu'ils appelaient rauhwacke (Wackerude).

La grauwacke abonde sur les bords du Rhin.

Grauwacke de Plancher-les-Mines (Vosges). Silice, 58,58; alumine et fer, 25,27; chaux, 1,78; magnésie, 2,4; potasse et soude, 10,27; perte au feu, 1,70. Elle se compose de grains fins de feldspaths groupés, de fragments ou de grains de quartz grisâtre mêlé à de la chlorite, à de la pyrite, souvent de débris de schiste argileux ou de porphyre et de débris de corps organisés; elle fait légèrement effervescence dans les acides; elle est fusible au chalumeau : elle est quelquefois rendue schisteuse par des lits de mica. Elle est assez répandue en couches puissantes dans les terrains anciens. A Famenne, elle devient schisteuse au point de recevoir le nom de schiste de Famenne.

Anagénite Haüy (ce mot veut dire régénéré). — Conglomérat de fragments de granite, de schistes. Le nom d'anagénite fait allusion à la ressemblance que ce conglomérat présente souvent avec les roches qui lui ont fourni ses principaux éléments; par exemple, les conglomérats de Glaris, de Valorsine (vallée de Chamonix), de Lannshut, de Waldenburg, dans le terrain houiller.

Fréquemment les anagénites contiennent des fragments roulés de roches différentes et passent aux poudingues.

Poudingues. — Conglomérat de galets de quartz ou de silex, jaunes, bruns, noirs, soudés par un ciment siliceux (forêt de Nemours), etc. Le quartz du grès des Vosges est incolore, translucide, souvent couvert d'un enduit ferrugineux brun ou rouge et les galets en sont souvent superficiellement marqués d'impressions creuses (cailloux impressionnés).

Beaucoup de poudingues contiennent souvent des galets provenant des roches les plus diverses : granite, schistes cristallins, porphyres, réunis dans un même ciment.

Pséphite. — Non donné à un conglomérat de porphyres plus ou moins altérés, de granites, de roches schisteuses, cimentés par une matière argileuse, qui provient sans doute de la décomposition de leur feldspath. Cette roche se rencontre en dépôts souvent alternes avec les nappes de mélaphyre (terrain houiller; grès rouge, à la base du permien). Elle renferme ordinairement des galets arrondis de quartz, et des fragments des roches voisines (voy. brèches et poudingues des mélaphyres).

Grès à base de mélaphyre. — Ce sont des conglomérats de mélaphyre, à grains fins, et mêlés à de grandes proportions de sable quartzeux.

Ces grès devenant schisteux passent à la grauwacke.

Le nom de pséphite est à peu près abandonné maintenant.

Nagelfluhe. — Cette roche joue un grand rôle dans les Alpes, où elle forme le Righi. Elle est composée de débris provenant de calcaires jurassiques et de grès, de schistes argileux ou siliceux, de roches cristallines, de quartz et d'un ciment peu abondant, siliceux et calcaire. Ses galets arrondis et durs font saillie à sa surface comme des têtes d'épingles ou de clous : c'est ce que rappelle le terme de nagelfluhe.

Un certain nombre de variétés de silice, assez abondantes pour mériter presque le nom de roches, ont une origine organique. Telle est la *silice farineuse* ou *farine de montagne*, poussière impalpable, dont chaque grain est une carapace d'infusoire. Parmi les variétés de cette *silice* se rangent le Kieselgühr et la Randanite.

Tripoli. — Roche à faciès terreux, formée de feuillets très minces produits par la juxtaposition de débris d'infusoires qui s'enchevêtrent (fig. 321).

Les spongiaires sécrètent également des quantités de silice parfois très importantes.



Fig. 321.

CHAPITRE X

ROCHES CARBONATÉES.

Le calcaire cristallin en masses est ordinairement intercalé entre des schistes cristallisés. Il est souvent mélangé à des schistes satinés, formant les couches appelées calcschistes (Moutiers, Savoie, île d'Elbe, Alpes du Dauphiné, vallée d'Arran, Pyrénées, etc.). Aussi le regarde-t-on comme une roche métamorphique. Le voisinage des roches éruptives a exercé une grande influence sur son état physique. L'abbé Palassou a signalé, il y a longtemps, l'alternance de calcaires cristallisés avec des schistes et des calcaires fossilifères dans la vallée d'Ossau. Elie de Beaumont, puis Studer ont observé dans les Alpes des modifications du calcaire

jurassique au contact du granite. A Lacus, dans le haut de la vallée du Ger, à Cazaunous entre Saint-Béat et Couledoux, d'après Coquand (1), des fossiles marins se rencontrent dans des calcaires grenus, remplis de conséranites, dipyres et autres minéraux cristallisés. A Lacus, on suit la transformation du calcaire qui d'abord noir, pétri de fossiles et de coraux blancs, passe insensiblement à un calcaire fétide, très grenu, montrant quelques coraux et finit par constituer un *calciphyre* où les conséranites se trouvent mélangés avec ces mêmes coraux devenus méconnaissables. La roche modifiante est, d'après Coquand, un granite; c'est au contact du moins de cette roche qu'a eu lieu la transformation du calcaire compacte fossilifère en calcaire cristallin, dit primitif. Ceux de Saint-Béat ont été modifiés par les roches dites *ophites de Palassou*. Les exemples ont été multipliés depuis; les calcaires cristallisés sont évidemment des roches métamorphiques. Si dans les schistes avec lesquels ils alternent, ils ne sont pas schisteux, c'est qu'en général le calcaire pur, sans mélange, ne se prête pas facilement à cette structure, à en juger par mes expériences, p. 506.

Calcaires lamellaires, à lamelles nettes, miroitantes, marbre de Paros, le plus pur, translucide pour une épaisseur de 35 millimètres.

C. Saccharoïdes; C. à gros grains, de Carrare, translucide pour une épaisseur de 25 millimètres (marbre statuaire); C. à grains fins du Pentélique, translucide sous une épaisseur de 15 millimètres, à zônes verdâtres, opalines, dont les Grecs ont construit le Parthénon, les Propylées; C. translucide des colonnes et des autels de Venise, d'origine inconnue; C. de Luni, côtes de Toscane, d'un blanc éclatant, à grains finement serrés; A Carrare, on exploite, outre le marbre blanc, le *bleu antique*, *bleu turquin*, d'un gris bleuâtre, avec zones blanchâtres, coloré par un peu de bitume; on peut citer aussi le marbre de Saint-Béat (Haute-Garonne).

Souvent ces calcaires sont mêlés de diverses substances cristal-

(1) Coquand. *Traité des roches*, chez Baillière, 1857, p. 315.

lisées, par exemple de **mica**, dont les lamelles donnent au marbre appelé *cipolin*, à couleurs vives, une texture plus ou moins schisteuse; de **talc**, dont les effets analogues produisent aussi des cipolins, d'un éclat un peu gras, parmi lesquels se distinguent ceux de Serravezza (Toscane) tantôt rubanés, tantôt bréchoïdes (fausses brèches), à cause des dessins capricieux de la matière talqueuse; de **serpentine**, dont les nuances et les dispositions variées font rechercher le *vert antique*, le *vert de Florence* (*ophicalce* de Brongniart); de grains cristallisés de **grenat**, d'**idocrase**, d'**épidote**, de **pyroxène**, de **trémolite**, de **pargasite**, d'**albite**, de **mica vert**, de **dipyre**, de **conséranite**, de **tourmaline**, d'**apatite**, de **wollastonite**, de **spinelle**, de **saphir**, de **graphite**, de **pyrite**, de **magnétite** qui font donner au calcaire le nom de *calciphyre*. Ceux de Saint-Béat (Hautes-Pyrénées) contiennent çà et là des cristaux de soufre; ceux de Carrare, de splendides cristaux de quartz, d'une limpidité absolue. Ils sont colorés quelquefois en jaune, en rouge, en brun, en teintes violacées par des oxydes ou des carbonates de fer et de manganèse, en noir, par de l'anthracite, en vert par de la malachite, etc.

Au microscope, ces calcaires présentent des groupements polysynthétiques et se colorent des irisations les plus vives en lumière polarisée.

Parmi les calcaires cristallins, figure celui qui forme de petits lits dans les caillasses des environs de Paris, où l'on trouve de jolis sphéroïdes de quartz hyalin cristallisé, jusqu'à de petits cubes de fluorine.

Calcaires compactes, à grains si ténus qu'on ne les discerne qu'à l'aide de forts grossissements. Liebtrau attribue aux grains du calcaire du Muschelkalk d'Iéna un diamètre de 2 ou 3 centièmes de millimètre. Le calcaire compacte a une cassure plate et terne, quelquefois terreuse, il est un peu poreux. Il contient souvent du carbonate et des oxydes de fer, de la silice à l'état de sable ou d'opale, des matières bitumineuses, quelquefois de la matière organique. On y a rencontré une foule d'espèces minérales cristallisées,

surtout dans les résidus obtenus après leur dissolution dans l'acide chlorhydrique; des grains de quartz, de feldspath, mica, zircon, pyrite, etc.

A peine jaunâtre, il est recherché comme pierre lithographique. Sans autre mélange que de très petites quantités de matières colorantes, il comprend les marbres simples ou unis, le *jaune antique* ou *jaune de Sienne*, coloré par un peu d'hydrate de fer; les marbres noirs, colorés par des matières anthraciteuses, et ceux à plusieurs couleurs :

Le *marbre Sainte-Anne*, noirâtre ou d'un gris bleu foncé coloré par l'anthracite, avec veines blanches, disséminées dans tous les sens; le *grand antique*, des environs de Saint-Lizier (Ariège), à fragments angulaires, noirs, réunis par des veines blanches; le *petit granite*, *granite des Écaussines* d'un noir assez pur, coloré par du bitume, où brillent des débris plus clairs d'encrine à cassure spathique, et que l'on extrait du calcaire carbonifère de Belgique, comme le marbre Sainte-Anne; le *portor*, à fond d'un beau noir, rehaussé de veines d'un jaune doré; le *marbre du Languedoc*, écarlate, à grandes flammes blanches, souvent grisâtres, produites par des polypiers dévoniens; le *vert d'Ariège*, à Seix; le *sarrancolin*, isabelle et rouge, de la vallée d'Aure (Hautes-Pyrénées); le *petit antique*, blanc et noir, d'Héchettes (Hautes-Pyrénées).

150. **Calcaire argileux**, ou mélangé d'argile, qui peut y atteindre 25 à 30 o/o, limite à laquelle il devient *fortement hydraulique*. L'hydraulicité diminue avec la proportion d'argile. Lorsque l'argile y dépasse 30 o/o, le calcaire prend le nom de marne. L'*albérèze*, *calcaire argilitique*, est un mélange de calcaire et d'argilite (argile endurcie). Exemple, le calcaire ou *marbre ruiniforme* de Florence.

Les roches phylladiennes peuvent aussi se trouver associées au calcaire, soit en particules disséminées, soit en feuillets qui donnent à l'ensemble une texture schisteuse (exemple, le *marbre griotte*, des carrières de Caunes, près Carcassonne), à fond d'un rouge brun, rappelant les cerises griottes, et parsemé de taches

blanches, ou d'un rouge de sang, dans lequel on reconnait des Clymenia; les *marbres campans*, à texture schistoïde, composés de phyllade vert ou brun, enveloppant des veines ou des bandes irrégulièrement épaisses et ondulées de calcaire blanc ou rosé, provenant de la vallée de Campan (Hautes-Pyrénées); le marbre *cervelas*, ainsi nommé à cause du mélange de ses couleurs blanchâtres et rouges; peut-être aussi le *rouge antique*.

La matière argileuse mêlée au calcaire appartient aussi aux schistes argileux dans le calc. de Bagnères-de-Bigorre, etc.

Calcaire siliceux. — Il renferme quelquefois jusqu'à 48 o/o de silice; il a souvent la cassure conchoïdale. Il caractérise aux environs de Paris les calcaires dits de Saint-Ouen.

Dans sa variété *sableuse*, le calcaire renferme la silice à l'état de sable quartzeux grossier. Quelquefois il en enveloppe de telles quantités sous une de ses formes cristallines les plus régulières, celle du rhomboèdre inverse, que l'on avait cru d'abord à la cristallisation du grès, comme le rappelle son nom de *grès cristallisé de Fontainebleau*.

Calcaire bitumineux. — Calcaire mêlé de bitume.

Le **Calcaire glauconieux** est un calcaire ordinairement argileux ou quartzeux, assez riche en globules de glauconite, silicate hydraté de fer et de magnésie, d'un vert noirâtre ou jaunâtre.

Il en existe des bancs plus ou moins épais dans des étages géologiques très différents : nummulitique des Alpes, des environs de Saint-Sever (Landes); partie inférieure du calcaire grossier ou de la craie des environs de Paris; silurien de la Russie, etc.

Calcaire ferrifère, jaune d'ocre ou brunâtre, souvent poreux ou caverneux, mais à texture compacte, assez répandu dans les terrains de transition, ou dans le Jurassique. Souvent l'hydrate de fer y entre sous sa forme oolithique (premières assises de l'oolithe inférieure).

On a émis plusieurs opinions sur le calcaire compacte.

Une des plus simples et qui doit être vraie pour un certain nombre de ces roches, c'est qu'elles ont été apportées dans un état

boueux par les cours d'eau dans les mers où ils se jetaient. Pour d'autres auteurs, et cela est vrai souvent aussi, beaucoup de calcaires compactes sont des amas formés par les parties solides broyées des animaux qui ont vécu dans les océans. Quelques auteurs pensent qu'ils résultent de la réaction que la matière organigue exerce sur les sels de chaux contenus dans l'eau de mer. Enfin, on penserait que les algues et plantes marines vertes en absorbant l'acide carbonique dissous dans l'eau en précipitent le carbonate de chaux retenu en dissolution par cet acide; cette action des plantes n'est sans doute pas négligeable; mais elle ne peut être probablement que superficielle.

C. fibreux. — En petits lits à Nanterre. La structure fibreuse se montre habituellement dans les stalactites ou les stalagmites calcaires des grottes, et dans toutes ces variétés concrétionnées que l'on connaît sous les noms d'*albâtre oriental* ou *égyptien*, lorsqu'elles sont bien translucides et incolores, ou de *marbres onyx*, lorsque leurs fibres droites ou sinueuses, d'un jaune de miel ou verdâtres, diffèrent les unes des autres par la nuance, la teinte ou le degré de translucidité. Les variétés à fibres circulaires et concentriques ont seules des nuances disposées comme le sont celles des agates onyx; elles proviennent toutes des stalactites. Depuis quelques années, on travaille dans le commerce les albâtres d'un vert pomme de Tecali (Mexique).

C. tuberculaire. — Concrétions en longs et volumineux cylindres déposés autour de tiges de plantes.

Oolithes. — D'une structure analogue à celle des pisolithes, leurs grains ne sont pas plus gros que des grains de millet. Quelquefois ils sont accolés immédiatement les uns aux autres, en masses de peu de consistance (oolithes de la Sarthe). Ou bien le ciment qui les empâte est au contraire très abondant, soit terreux, soit cristallin; dans un C. oolithique de l'Illinois, de la collection du Muséum d'histoire naturelle, c'est un mélange calcaire à clivages rhomboédriques, et de petits cristaux de quartz en prismes hexagonaux bipyramidés : les grains oolithiques y ont l'aspect

terreux. Ces calcaires sont très fréquents dans les différents étages du terrain jurassique; mais ils se retrouvent dans d'autres terrains.

Calcaires pisolithiques. — Ils appartiennent en général à l'aragonite (voy. plus loin).

C. stalactitiques. — Ordinairement l'on y discerne les différentes enveloppes formées successivement par les eaux qui suintent des parois des grottes. Les stalactites ressemblent à des cônes renversés; souvent elles sont composées de fibres cristallines qui rayonnent autour de l'axe commun; parfois le cône s'aplatit dans une direction. Les stalagmites sont le reste du calcaire que l'eau tenait en suspension, et qu'elle a laissé sur le sol de la grotte en s'évaporant.

L'on peut rappeler ici les dénominations de **C. d'eau douce, C. lacustres**, qui méritent d'être mentionnées à cause de leur fréquent emploi. Ces roches ont beaucoup d'analogie avec les travertins; elles offrent souvent de nombreuses cavités. Ex. : C. de Château-Landon, très compact, très résistant, à cavités ordinairement remplies de calcaire spathique; C. d'Agen, cellulaire et bitumineux. Quelquefois elles sont marneuses ou siliceuses, mais toujours caractérisées par leurs coquilles fluviales ou lacustres.

Travertins. — Calcaires compactes, d'un blanc grisâtre, légers, solides, prenant bien le mortier, à cause des cavités, en général parallèles, dont ils sont souvent criblés. L'on peut regarder ces cavités comme produites par le dégagement de l'acide carbonique devenu libre, en même temps que le calcaire se déposait dans les eaux qui l'avaient apporté à l'état de bicarbonate. Quelques-unes de ces cavités semblent provenir de formes végétales. Exemple : le travertin célèbre, si répandu en Italie, soit autour de Tivoli, soit dans les Abruzzes et en Toscane, dans la vallée de l'Elsa, où il alterne avec des tufs.

Tufs calcaires. — Roches de même nature, mais plus légères, à cavités plus grandes, dont les parois, souvent comme écailleuses ou feuilletées, se sont moulées sur des tiges de plantes disparues. Les sources anciennes amènent encore aux bains de San Felippo

des eaux qui incrustent de calcaire les objets sur lesquels on les dirige (*calcaires incrustants*). Elles ont produit, d'après M. Lyell, une couche de travertin dur, de 2 kilomètres de long sur une épaisseur qui atteint quelquefois 75 mètres. En quatre mois de temps, elles déposent une couche de 30 centimètres d'épaisseur. Leur structure a souvent beaucoup d'analogie avec l'une ou l'autre des suivantes :

C. coquilliers. — Ils comprennent toutes ces couches puissantes disséminées dans les divers terrains sédimentaires, qui consistent surtout en débris de coquilles, agglutinés par un ciment. Ex. : le calcaire à encrines, à cassure spathique et brillante du corallien d'Euville, près Commercy (Meuse).

Faluns. — On a donné ce nom à un calcaire sableux, friable et très riche en débris de coquilles, exploité pour l'amendement des terres. L'on appelle C. nummulitique, C. à miliolithes, C. madréporique, C. encrinitique, C. à cypris, à oursins, à mélonies, des calcaires qui sont composés quelquefois presque exclusivement de ces coquilles. Des conglomérats coquilliers se forment encore actuellement.

Nous ne ferons que rappeler ici les récifs coralliens construits par des polypes.

C. lumachelle. — Mot employé dans les arts pour désigner les roches dont les coquilles et le ciment qui les réunit ont des nuances ou des teintes différentes. Ex. : la *lumachelle* d'Astrakhan, formée de calcaire ferrifère, à fond brun, sur lequel ressortent agréablement des coquilles ou des fragments de coquilles d'un jaune vif.

C. grossier. — Le ciment est formé de calcaire argileux; la roche est souvent assez consistante. Dans celui des environs de Paris, l'on peut signaler la pierre de *liais*, le *cliquart*, sonores, durs, d'un grain égal et fin, avec lesquels on fait des pierres d'escalier, des colonnes; la *lambourde*, friable et plus tendre, qui a tant fourni de moellons aux constructions parisiennes.

Calcaires terreux, *craie blanche, blanc d'Espagne, blanc de Meudon* (*chalkmark*, angl; *kreide*, all.). — Matière d'une blan-

cheur parfaite, friable, traçante (*crayon blanc*), à cassure terreuse et mate. Ehrenberg a démontré par des observations microscopiques qu'elle est composée de calcaire cristallin, à grains extrêmement ténus, et surtout de petites carapaces de foraminifères. Elle contient des lits de silex noirs en nodules irréguliers. Elle se colore en certaines contrées en grisâtre, en bleuâtre. Dans sa partie inférieure, elle devient *marneuse*, ou bien elle renferme des grains verdâtres de glauconie (*craie glauconieuse*).

Craie tufau. — Elle est sableuse et micacée, jaunâtre ou verdâtre. Elle a quelquefois assez de résistance pour être employée dans les constructions.

Brèches calcaires. — Les galets roulés, les fragments anguleux de calcaire, agglutinés en masses par un ciment, constituent des *poudingues*, des *brèches calcaires*. Ex. : le *marbre poudingue* d'Espagne, à ciment d'un rouge foncé, qui englobe un grand nombre de petits galets rouges, jaunes et noirs; la *brèche d'Alet*, Bouches-du-Rhône, à fragments violets et jaunes, et les brèches des Pyrénées et de l'Italie, à couleurs riches et variées. L'on appelle *brocatelle d'Espagne*, marbre brocart, une brèche d'un rouge vineux, à petits fragments jaunes ou violets, qui renferme aussi des débris de coquilles jaunâtres ou gris. Enfin l'on pourrait mentionner encore la *brèche de Numidie*, d'un rouge de feu splendide.

Aragonite. — Ce carbonate de chaux se distingue du calcaire par sa forme cristalline primitive, qui est un prisme droit à base rhombe de 116°16′ par sa densité plus grande, qui atteint 2,93, par la manière dont elle se disperse en petits éclats, quand on en porte un fragment à une température peu élevée, au chalumeau (voy. espèces minérales, p. 448).

L'aragonite ne se forme que dans des eaux un peu chaudes et dont la température est cependant inférieure à 200°. Elle se rencontre quelquefois avec du calcaire et en particulier dans les cavités de certains basaltes. Elle est la base de quelques stalactites et particulièrement des variétés pisolithiques du carbonate de chaux, à Carlsbad, à Vichy.

Pisolithes. — Concrétions souvent isolées, qui sont quelquefois parfaitement sphériques (à Carlsbad, Bohême) (fig. 322), et qui se produisent autour d'un point matériel, organique ou minéral, que des eaux agitées ballottent à mesure qu'elles en augmentent la masse par leurs dépôts successifs, en forme de membranes minces,



Fig. 322.

concentriques. Souvent les pisolithes sont reliées ensemble par un ciment de calcaire plus ou moins argileux (fig. 201). Quelquefois leurs bords vagues se fondent les uns dans les autres; souvent l'on y distingue les zones d'accroissement; mais ils sont surtout reconnaissables dans les pâtes colorées autrement qu'eux.

Marne (*marl*, angl.; *mergel*, all.) — Mélange intime et homogène d'argile et de calcaire en masse, ou en lits superposés. Tendre, friable, à odeur argileuse, happant à la langue et fusible au chalumeau, comme l'argile, elle fait effervescence avec les acides, comme le calcaire. La solution est précipitée par l'oxalate d'ammoniaque, après avoir été débarrassée de l'alumine et du fer par

l'ammoniaque. Elle se délaie dans l'eau. Sous l'action de l'humidité, elle se désagrège peu à peu, et finit par tomber en miettes, ce qui la rend propre à l'amendement des terres. Densité : environ 2,65. Les deux éléments essentiels s'y trouvent associés suivant des proportions très variables ; ils sont mélangés eux-mêmes de quantités plus ou moins grandes de matières diverses ; aussi les marnes présentent-elles des propriétés très variées.

Elles sont, comme les argiles, colorées en bleu verdâtre par le protoxyde de fer, en jaune et en rouge par les sesquioxydes avec ou sans eau, en noir par des matières charbonneuses. Lorsqu'elles renferment du carbonate de magnésie combiné au calcaire (marnes dolomitiques), elles absorbent l'eau avec avidité. L'on comprend facilement les dénominations suivantes : M. *à excès de calcaire* (propre à l'amendement des sols argileux) ; M. *à excès d'argile* (plus favorable aux sols sablonneux) ; M. *sableuse* (avec sable passant au lœss) ; M. *micacée* (avec mica) ; M. *charbonneuse* ; M. *glauconieuse* (avec grains de glauconie) ; M. *gypseuse* ; M. *salifère* (marnes avec gypse et particules de sel gemme, souvent intimement mélangées).

M. oolithique. — L'on appelle ainsi une sorte de grès calcaire formé de grains de calcaire oolithique agglutinés par un ciment argileux.

M. schisteuse. — Souvent en lits d'une minceur excessive, les marnes se rencontrent dans tous les terrains de sédiment.

L'on appelle **Marnolithe** (*marl-stone*, angl.) un mélange d'argile et de marne qui semble endurci par un ciment siliceux. Elle ne fait pas pâte avec l'eau, mais elle a les autres caractères de la marne proprement dite.

Marnes strontianifères. — Au parc d'Issy, près Paris, on trouve dans les marnes inférieures de l'argile plastique, du sulfate de strontiane terreux, intimement mélangé à la marne, plutôt que du carbonate, comme nous l'avions observé autrefois sur un mélange sans doute accidentel.

Dolomie (voy. à l'espèce dolomie, p. 447).

On peut dire de la dolomie saccharoïde, comme de la variété analogue de calcaire, qu'elle est métamorphique.

D. grenue. — Souvent d'un blanc de neige, elle ressemble au calcaire saccharoïde; mais elle est un peu plus dure, plus lourde, et surtout elle ne se dissout qu'à chaud avec effervescence; elle est souvent imprégnée d'argile ferrugineuse. Les grains cristallins, plus indépendants les uns des autres que dans les calcaires, laissent à la masse une certaine flexibilité. Elle est quelquefois micacée (val Bedretto, au Saint-Gothard).

Elle renferme accidentellement un grand nombre de minéraux : mica, talc, corindon, quartz, amphibole, spinelle, graphite, réalgar, pyrite, blende, cuivre gris, jordanite, dufrénoysite, magnésite, etc.

D. Schistoïde, feuilletée. — Ex. : Les dolomies de Salins, dans le Jura. Ces dolomies se rencontrent, soit subordonnées aux micachistes, soit dans les terrains primaires des Alpes et des Pyrénées; ou bien dans les marnes irisées, en couches alternes avec le sel gemme ou le gypse; dans le Jurassique de la France méridionale (Hérault, Lot, Provence, etc.).

D. oolithique, assez fréquente dans le permien de l'Angleterre.

D. compacte, à cassure plus ou moins conchoïdale, ressemble au calcaire du même nom, et s'en distingue facilement (voy. dolomie grenue).

D. sableuse, ou mêlée de sable quartzeux; D. *argileuse*, contenant de l'argile.

Sable de dolomie — Dolomie à grains isolés.

Dolomies calcarifères : *Calcaires magnésiens*. — Roches composées de dolomie et de calcaire intimement mélangés en proportions peu constantes.

Variétés principales: D. Rauwacke ou Rauhkalk; c'est un calcaire riche en magnésie, dur et compacte, d'un gris tacheté de noir, caractérisé par ses cavités de grandeur et de forme variables. Souvent il est formé de petites masses globuleuses (D. botryoïde). Il caractérise le zechstein du Mansfeld et de la Thuringe, dont les autres roches sont : le calcaire *stinkstein*, *stinkkalk*, compacte ou

cristallin, verdâtre ou noirâtre, bitumineux, exhalant une odeur fétide, quand on le casse, et le calcaire magnésien friable, cristallin, arénoïde, ou même pulvérulent, appelé *asche*.

Le calcaire magnésien arénoïde et le bitumineux se retrouvent dans d'autres terrains plus récents de la Savoie et du Tyrol.

Cargneule. — Nom donné dans les Alpes aux brèches formées de fragments anguleux de dolomie ou de calcaire magnésien.

La dolomie se dissout dans l'acide azotique, mais lentement et sans effervescence apparente; pulvérisée, elle se dissout rapidement, lorsqu'on la chauffe. La dissolution traitée par l'acide sulfurique, puis par l'alcool, et dépouillée par filtration du sulfate de chaux, dépose par évaporation des cristaux de sulfate de magnésie ou donne un précipité blanc cristallin comme la giobertite, avec le phosphate de soude ammoniacal.

CHAPITRE XI

ROCHES PHOSPHATÉES.

Apatite. — L'apatite (voy. la description de cette espèce, p. 458) forme des couches importantes dans le New-Jersey. A South Burgon et à Elmsley, Canada, il y a dans un calcaire grenu de nombreux cristaux d'apatite, longs de 50 à 60 centimètres, formant une couche de 3 mètres de puissance; dans le comté d'Ottawa les cristaux sont encore plus longs. En Estramadure, dans la province de Cacérès, à Lagrosan et Trujillo, il y a des filons de cette matière dans le silurien et le granite qui le traverse. Les gisements espagnols se prolongent en Portugal, dans la province d'Alemtejo.

A de forts grossissements, au microscope, on voit l'apatite

abonder comme élément accessoire dans un très grand nombre de roches massives ou schisteuses et de laves.

Il y a des couches de phosphate de chaux à plusieurs étages dans les terrains de sédiment.

A Caylus, Tarn-et-Garonne, le phosphate de chaux se présente en concrétions mamelonnées, fibreuses, quelquefois un peu argilifères, qui se mêlent à des poudingues quartzeux auxquels il sert de ciment. Le mélange remplit des poches de 35 mètres de diamètre, des fentes qui se rétrécissent en bas, dirigées souvent ENE — OSO, à Pandaré, à Caylus, Tarn-et-Garonne, à Cajare, etc., Lot.

On y recueille beaucoup d'ossements d'animaux contemporains, les uns du gypse, les autres du miocène, ou même plus récents, mais alors moins nombreux. Dans ce gisement, le phosphate de chaux a tous les faciès possibles, celui du calcaire, de l'agate ou du silex, de la meulière, à part la dureté qui reste distinctive.

On a aussi trouvé le phosphate de chaux dans les coprolithes du Bone-bed, en Calvados, etc. ; dans le crag d'Angleterre ; dans des rognons où il est mêlé à du calcaire et à de la glauconie avec pyrite et argile charbonneuse, à Vissant; Pas-de-Calais, dans le Gault; dans les comtés de Kent et de Surrey, à Machéromesnil, Ardennes; dans la Meuse, la Marne, l'Yonne, entre Novion et Saint-Florentin ; à Bellegarde, dans les ammonites et autres coquilles du gault si nombreuses dans les escarpements qui bordent le Rhône; dans l'Ain, l'Isère, la Drôme, la Savoie, les Alpes-Maritimes, aux environs de Grasse.

En Westphalie, c'est dans les schistes argileux noirs du bassin de la Rhür qu'on trouve l'apatite avec pyrite et sidérose.

On a découvert depuis quelques années de riches gisements de phosphate de chaux dans les provinces de Constantine et d'Alger et en Tunisie (Tebessa et Gafsa, etc.). Ces gisements sont regardés aujourd'hui comme appartenant à l'éocène inférieur (suessonien).

Dans le guano des îles du Chili, des côtes du Pérou, du Moine, aux Antilles, il entre un peu de phosphate de chaux. Le guano

est une accumulation d'urine d'oiseaux pétrifiée, qui renferme de l'ammoniaque, de la chaux, de l'acide urique, de l'acide ulmique, de l'acide avique. Ce mélange, plus ou moins jaunâtre, fond quand on le chauffe et finit par devenir terreux. Il est soluble en partie dans l'acide chlorhydrique et dans la lessive de potasse qui en dégage de l'ammoniaque.

Sombrerite. — Provenant de Sombrero (Indes), formée en grande partie de phosphate de chaux.

CHAPITRE XII

ROCHES SULFATÉES.

Gypse (voy. la description aux espèces minérales, p. 453.

Un assez grand nombre de variétés de gypse cristallin se trouvent dans les mêmes gisements que celles du calcaire et doivent être considérées comme métamorphiques. Elles résultent de la transformation de calcaires où l'acide carbonique a été remplacé sur place par de l'acide sulfurique provenant sans doute lui-même d'émanations thermates sulfureuses (par exemple à Aix, en Savoie).

Le gypse du Saint-Gothard contient du **mica** et du **talc**. On a rencontré du béryl dans le gypse, dans la vallée d'Harroch, à 15 kilomètres de Blidah (Afrique française). Les lagoni de Monte-Cerboli et de Castel-Nuovo, Toscane, gypsifient encore de nos jours les bancs calcaires qu'ils traversent.

Variétés ordinaires : *lamellaire*, à éclat souvent assez vif, un peu nacré; *fibreux*, à éclat soyeux ; *saccharoïde*, ressemblant au marbre, dont il se distingue par sa faible dureté, puisqu'il se raie avec l'ongle.

Les variétés lamellaires, et surtout la compacte, sont souvent d'un blanc pur, toujours mat, il est vrai, et possèdent souvent une translucidité douce, qui les fait rechercher comme albâtres (*alabastrites* ou *albâtres gypseux*). Elles ont l'inconvénient d'être trop tendres, ce qui force à les couvrir d'un verre, une fois travaillées. Le gypse fibreux a l'éclat de la soie.

Minéraux accidentels mêlés au gypse : *sel gemme*, *anhydrite mica*, *boracite*, *quartz*, *pyrite*, etc.

L'eau dissout deux centièmes de gypse à la température ordinaire; c'est à 35° que le coefficient de solubilité atteint son maximum.

Gisements. — Il se rencontre dans les formations sédimentaires de tous les âges; dès l'époque silurienne, aux États-Unis; dans le permien du Mansfeld ; dans les grès bigarrés de la Thuringe, dans le muschelkalak du Wurtemberg; dans les marnes irisées du Jura, de la Lorraine, de la Provence, de la Toscane, où les marnes, les dolomies, les grès se replient en voûte au-dessus des gros tubercules de gypse divisés en assises et se laissent pénétrer par leurs innombrables ramifications; dans le trias de l'Isère, dans le wealdien du Doubs; dans le nummulitique de la Catalogne; dans l'éocène supérieur des environs de Paris, où l'on rencontre, à Montmartre et aux buttes Chaumont, quatre lentilles de gypse, dont la plus élevée, qui est aussi la plus étendue, dépasse Montmélian; dans le pliocène de Wieliczka, dans les lagoni de Monte-Cerboli et Castel-Nuovo, Toscane, etc.

Le gypse paraît résulter de l'action d'émanations sulfureuses sur des calcaires et la transformation en a été accompagnée d'une augmentation du volume de la masse primitive, qui a boursoufflé souvent le terrain encaissant.

Emplois. — L'albâtre sert à la fabrication de socles de pendules, de figurines. Les Étrusques en ont fait une foule de leurs tombes. Le plâtre des environs de Paris doit sa réputation à un peu de calcaire mélangé à sa masse ; chauffé à une température qui

ne doit pas dépasser théoriquement 260°, mais que dans la pratique on n'élève guère qu'à 200°, le gypse perd son eau, devient friable et, pulvérisé, constitue le *plâtre*, qui peut, comme on sait, reprendre son eau, quand il n'a pas été trop cuit, et reformer en s'hydratant une masse cristalline, solide, d'un volume plus grand que le plâtre employé. Cette dilatation rend le plâtre fin favorable au moulage et le fait servir en poudre plus grossière à relier ensemble les divers matériaux d'une construction.

Le plâtre est employé aussi dans l'amendement des terres où l'on cultive la luzerne, le trèfle, les pois, le colza, le chanvre, le lin, etc.

On en fait du stuc en le gâchant avec de l'eau et de la gélatine, ou quelquefois une dissolution de gomme.

Le plâtre ne résiste pas à l'humidité. Quelquefois on l'imprègne de silicate de potasse, qui le transforme en silicate de chaux.

Alunite. — Roche compacte, uniforme ou porphyroïde, souvent arénacée, ou bréchoïde, de couleurs assez claires tirant sur le gris, le jaune, ou le rose, formée d'**alunite**.

Le plus souvent elle est en concrétions fibreuses ou granulaires à facies terreux, à toucher un peu âpre.

Elle résulte de l'altération des roches trachytiques (au mont Dore, à la Tolfa, près Civita-Vecchia, Italie, etc.), par des émanations d'acide sulfureux.

CHAPITRE XIII

ROCHES CHLORURÉES.

Sel gemme. — (*Sel commun, rupestre, marin, rocksalt, steinsalz*). Nacl ou chlorure de sodium (voir la description aux espèces minérales, p. 324).

Il colore la flamme en jaune; il fond au chalumeau; il est soluble dans moins de quatre parties d'eau. La solution précipite par l'antimoniate grenu de potasse, convenablement préparé, surtout si l'on frotte les parois du vase avec un agitateur, et à la condition qu'elle ne contienne pas d'autre base que de la soude ou tout au plus une petite quantité de potasse; elle donne aussi avec l'azotate d'argent un précipité blanc qui fait ressembler la liqueur au lait caillé, et qui tombe vite au fond du vase à cause de son poids, mais qui se redissout instantanément, si l'on y verse un excès d'ammoniaque. Il a une saveur particulière, sympathique. Tantôt il se présente en masses limpides, à clivages cubiques, incolores, ou colorées en bleu, en vert, par des matières organiques ou par des sels de cuivre; en rouge brique par du fer oligiste; en rouge orangé par des infusoires; tantôt il a une cassure lamellaire ou une texture fibreuse; il est souvent disséminé en amas considérables dans des argiles et des marnes, d'où sortent des sources salées fort importantes.

Il renferme en général beaucoup d'inclusions, des chlorures, particulièrement de magnésium; mais surtout des hydrogènes carbonés, des restes de plantes.

Dans le sel de Wieliczka il a été trouvé : H 2,92 et gaz oléfiant 1,75. On y rencontre aussi de l'anhydrite; des chlorures de cuivre, des oxydes de fer. Le sel bleu de Kalusz (Galicie), d'un beau bleu donne, dans l'eau, une dissolution incolore et se dissout sans dégagement de gaz.

Le sel gemme apparaît déjà en dépôts dans le silurien de l'Ohio, Virginie, de la Pensylvanie, de l'état de New-York, si riches en sources salées. Il est assez abondant aussi dans le permien en Allemagne, à Stassfurt, près de Magdebourg, où il est accompagné de sels de potasse et de magnésie, à l'état de chlorures, de sulfates, de borates, etc.; au Mansfeld, dans le gouvernement de Perm; dans le Zechstein de la Thuringe puis dans le trias inférieur du Tyrol, dans le Muschel-Kalk du Wurtemberg. Il forme des amas étendus et puissants dans les marnes irisées ou keuper

en Angleterre, dans le même étage, en Suisse, à Bex; en France (Lorraine et Jura); dans le crétacé d'Algérie; dans le tertiaire de Vieliczka, Pologne, de Cardona, Catalogne, etc.; il se rencontre enfin parmi les masses rejetées par les volcans ; il donne leur salure aux mers et aux lacs appelés *lacs salés*.

CHAPITRE XIV

ARGILES.

Kaolin (*terre à porcelaine*; *porzellanerde*, all.). — Les analyses conduisent à peu près à la formule $(Al^2O^3)\,2\,SiO^2 + 2H^2O = AlH^2O^4$ (47,05 silice; 39,21 alumine; 13,74 eau).

La densité varie de 2,4 à 2,6; la dureté de 1 à 2,5. La forme cristalline n'a pas encore pu en être déterminée. Il a l'éclat nacré ou terreux; il happe légèrement à la langue. Il fait difficilement pâte avec l'eau. Il se présente ordinairement en masses importantes, maigres au toucher, blanches, rougeâtres, etc., plus ou moins mélangées de quartz, de mica ou d'oxydes de fer. Il est infusible au chalumeau; il n'est attaqué que par l'acide sulfurique bouillant.

Il résulte de la décomposition de plusieurs silicates alumineux, principalement du feldspath, des granites, des pegmatites, des porphyres, du gneiss, des trachytes.

Il sert quelquefois de ciment à certains grès ou à des conglomérats.

Le kaolin se présente quelquefois en lamelles ou en écailles rhombiques, pseudo hexagonales; l'angle des faces du prisme *mm* est de 120°34'; l'angle de la face de clivage *p* sur les faces *m* est de 95°55'. La bissectrice aiguë négative est normale à g^1.

Pholérite. — La matière de ce nom se présente en masses gra-

nulaires, fibreuses, en petites écailles cristallines, clino-rhombiques, à contours hexagonaux. Ces écailles montrent au microscope deux axes optiques écartés, dont la bissectrice aiguë négative est inclinée d'environ 13° sur la direction g^1h^1. L'angle des faces *mm* est de 120°34'; *pm* = 95°58'. Éclat nacré; fait pâte avec l'eau; douce au toucher; happe à la langue. Densité : 2,34 à 2,57. Contient généralement un peu plus d'eau que le kaolin, de 12 à 15 o/o.

Pyrophyllite. $Al^2O^3 4SiO^2H^2O$. — Silicate d'alumine hydraté, contenant quelque peu de magnésie ou de protoxyde de fer, en prismes droits à base rhombe, clivables et allongés suivant la base, flexibles blancs ou d'un blanc verdâtre, à éclat gras, presque transparent, à poussière onctueuse, très tendre, prenant au chalumeau nn volume considérable et s'y déployant pour ainsi dire en éventail, mais sans fondre nettement, donnant de l'eau dans le tube fermé, incomplètement attaqué par l'acide sulfurique. C'est une de ces substances que ses caractères extérieurs d'éclat, de flexibilité sans élasticité, de poussière onctueuse ont souvent fait confondre avec le talc. Ses lames étroites et allongées sont souvent groupées autour d'un centre commun. Densité : 2,8 à 2,9; dureté : 1 à 2. Bissectrice aiguë perpendiculaire au clivage, négative, axes écartés.

Argile plastique (*plastic clay*, angl. ; *töpferthon*, all.). — Elle contient ordinairement un peu plus de silice que le kaolin. Elle possède à un haut degré la propriété de donner avec l'eau une pâte qui se laisse mouler, et qui conserve sa forme après la cuisson. A l'état sec, elle est plus ou moins finement terreuse, friable, tendre, mate, onctueuse; elle se polit sous l'ongle. Elle est d'un gris veiné de rouge et de jaune (argiles bigarrées) ou verdâtre, bleuâtre, noirâtre. Sous l'action du souffle, elle exerce sur la muqueuse nasale une impression particulière, que l'on appelle l'odeur argileuse, celle que la terre exhale après la pluie.

La densité en est d'environ 2,44. Elle absorbe l'eau et la retient énergiquement; elle happe à la langue. Au chalumeau, elle est infusible; elle est attaquable par l'acide sulfurique concentré,

surtout après calcination. La plus pure, qui a la composition du kaolin, sert à la fabrication des cazettes à porcelaine (Abondant, près Dreux). Les autres en diffèrent par une plus forte proportion de silice; parmi elles on distingue la terre de pipe (Ardennes), et celles que l'on recherche pour la fabrication des faïences. Lorsque l'argile est colorée par des matières charbonneuses (en noir), elle se décolore au feu; les colorations vertes, rouges, jaunes plus ou moins bleuâtres, qu'elle doit souvent aux oxydes de fer, tournent toutes au rouge plus ou moins foncé, à la température de la cuisson de la brique.

La *terre glaise, argile plastique commune, terre à poteries, argile figuline*, plus friable, plus fusible, est souvent aussi mélangée de quelques centièmes de sable quartzeux, ou de calcaire. Enfin, elle contient, comme mélanges visibles, de la pyrite blanche en nodules cristallins, du gypse en cristaux souvent volumineux et nets, du succin, du lignite, des végétaux, ou ces rognons de calcaire argileux que l'on appelle *septaria*.

Lorsque les proportions du calcaire dépassent 15 à 20 o/o dans une argile, elle prend le nom de *marne*.

L'argile cesse de faire pâte avec l'eau, et ne la retient plus aussi bien après sa dessiccation, lorsqu'elle renferme une trop grande quantité de limonite, de sable et surtout de silicate de magnésie.

Dans certaines argiles, l'alumine est en partie remplacée par du sesquioxyde de fer rouge, dont la proportion s'élève à 15 ou 20 o/o. L'oxyde de fer, en s'hydratant, les colore en jaune d'ocre ou en brun. Ces roches très ferrugineuses, appelées *bols*, grasses au toucher, se délitent en petits fragments dans l'eau. Elles sont en partie attaquées par l'acide chlorhydrique, et fusibles au chalumeau. On les trouve en rognons dans les mélaphyres, les basaltes, et l'on peut en rapprocher celles qui se produisent par l'altération des roches riches en fers, telles que certains micaschistes.

Halloysite ou lithomarge (*steinmark*). — Argile compacte. Toucher gras; éclat perlé; la cassure est souvent conchoïdale: les

couleurs y affectent une disposition rubanée. Dureté : un peu supérieure à celle du gypse. Densité : 2,5 à 2,6. Eau 16, 3 o/o.

Chimiquement, elle diffère peu du kaolin. Elle forme des veines ou des amas au contact des porphyres et des serpentines.

Argile smectique (terre à foulon, *fullars'earth*, *walkererde*). Elle renferme à peu près deux fois plus d'eau que celles qui précèdent. Elle est à un plus haut degré onctueuse, happant à la langue; elle est surtout recherchée pour son pouvoir absorbant considérable à l'égard des corps gras. Les caractères particuliers qui la distinguent des précédentes sont de se délayer mal dans l'eau, où sa masse se démolit par fragments de plus en plus ténus, et de fondre au chalumeau. Elle est presque complètement attaquable par les acides et les alcalis. Généralement grise ou verdâtre, elle est quelquefois colorée d'autres nuances ; elle est souvent tachetée. Elle se polit facilement sous l'ongle ; dans la cassure fraîche, elle est assez éclatante, et plus ou moins translucide sur les bords, surtout lorsqu'elle est placée dans l'eau. L'on en connaît des couches dans le Fullers-earth d'Angleterre, auquel elle a donné son nom ; en lits, au milieu de la formation gypseuse des environs de Paris. En Allemagne, elle se rencontre souvent au voisinage des Gabbros.

Argile magnésienne (*Schiste happant*). — C'est un mélange d'argile ordinaire et de magnésite, hydrosilicate de magnésie. Elle possède au plus haut degré la propriété d'absorber l'eau. L'on en trouve fréquemment en petits lits dans les environs de Paris. Elle est attaquée par l'acide chlorydrique, où elle fait gelée. La solution débarrassée de l'alumine et des oxydes de fer par l'ammoniaque, de la chaux par l'oxalate d'ammoniaque, précipite ensuite par le phosphate de soude.

Limon (*lehm*). — Argile mêlée de sable très fin, peu happante à la langue, dont les colorations plus ou moins brunes ou jaunâtres proviennent des oxydes de fer dont elle est imprégnée. Elle est ordinairement mêlée de calcaire, de petites quantités de sels, phosphates et sulfates terreux ou alcalins, de matières organiques.

Elle forme les terres végétales et recouvre les plaines et les flancs des vallées.

Le limon de la vallée de la Seine et du Rhin renferme des couches de marne, des coquilles; il est appelé *Læss*. Quelques géologues lui attribuent une origine éolienne, au moins dans certaines régions où il couvre de très grandes surfaces.

Terreau (*mould*, angl.; *dammerde*, all.). — Limon brunâtre ou noirâtre mêlé de détritus végétaux (arbrisseaux, herbes), contenant de l'ulmine, des matières salines, etc.

Un terreau noir, formé de sable argileux et d'environ 7 o/o de matières organiques, d'une fécondité remarquable, occupe plus de 80 millions d'hectares entre le pied des Carpathes et l'Oural. D'après d'Archiac, il semble recouvrir sur sa limite le dépôt des blocs erratiques jusqu'à une certaine distance. Au microscope, l'on y a reconnu des diatomées.

Argilite. — Roche qui joue, par rapport aux schistes argileux, le même rôle que la novaculite vis-à-vis des phyllades. Ces masses compactes, solides, sont formées d'argile, combinées à un excès de silice, qui les rend plus compactes. Elles ont l'odeur argileuse, mais elles fondent très difficilement au chalumeau; elles happent peu à la langue, elles ne font point pâte avec l'eau; elles ont la cassure plate ou conchoïdale, et quelquefois l'aspect jaspoïde. Elles forment des couches massives ou schistoïdes, qui tendent à se diviser en petits fragments irrégulièrement polyédriques.

Ex. : argilite de Ronchamp (Vosges); de la Louisiane (terre à calumets des Indiens).

Thermantides (*porcellanites*; *jaspes porcelaines*). — Roches ressemblant à des émaux plus ou moins vitreux, d'un bleu lavande, d'un gris perle, ou bien encore jaunâtre, brunâtre, violâtre, et souvent de plusieurs teintes disposées par bandes parallèles ou entremêlées les unes avec les autres de manières diverses. Elles sont compactes, quelquefois un peu schisteuses, opaques ou peu translucides et fusibles en globules clairs.

Elles résultent de la vitrification des argiles au contact des ba-

saltes (Dunbar, Écosse), etc., ou de houillères embrasées, à Commentry, à la Bouiche (Allier); à la Ricamarie, près Saint-Étienne (Loire), à Zwickau, en Saxe, etc.

Tapanhoacanga. — Conglomérat polygénique de fragments d'**itabirite**, de **quartzite**, avec ciment de **kaolin** argileux ou marneux. Accidentellement : *améthyste, topazes, diamant, or.*

Gaize, nom donné dans l'Ardenne à un mélange de grès avec marne et silice gélatineuse.

APPENDICE

MÉTHODE POUR LA DÉTERMINATION DES ROCHES ET TABLEAUX DES CARACTÈRES DE LEURS ÉLÉMENTS.

1° La roche est homogène, compacte, sans facettes cristallines, se rayant facilement avec la pointe d'un burin, d'odeur argileuse (v. *Argiles*) ; homogène, à grandes lames cristallines, ou à cassure saccharoïde, ou compacte, ou terreuse, éolithique, pisolithique, etc., plus tendre que la pointe d'un burin, faisant effervescence dans les acides à froid (v. *Calcaires*), à chaud seulement (Dolomie) ; d'aspect ordinairement cristallin, rarement terreux, à clivages feuilletés, assez tendre pour être rayée par l'ongle, hydratée, divisible en lames élastiques, peu flexibles (v. *Gypse*); en masses laminaires, pesantes, plus tendre que la pointe d'un burin, offrant plusieurs clivages, dont un est perpendiculaire au plan des autres, insoluble dans les acides, ne se trouvant guère en masses importantes que dans les filons (v. *Sulfates* et particulièrement *Barytine*) ; en petites masses laminaires ou lamellaires, offrant trois clivages rectangulaires, anhydre, souvent bleuâtre, toujours plus tendre que l'acier, insoluble dans les acides (v. *Sulfates* et *Anhydrite*) ; en sables ou en grains ; en sables agglutinés par un ciment calcaire ou siliceux (v. *Grès infusibles au chalumeau*) ;

2° La roche est homogène, compacte, mais elle est plus dure que la pointe d'un burin; elle fait peu ou point effervescence dans les acides; elle est difficilement fusible, insoluble dans les acides et contient çà et là des cristaux (v. *Eurite*) passant aux porphyres.

Lorsque la roche est hétérogène, on a toujours avantage à en étudier à part chaque élément;

3° On peut y distinguer un ciment et des galets arrondis (voyez roches conglomérées) ou des fragments anguleux (voyez brèches) ou des cristaux à contours plus ou moins réguliers (voy. porphyres).

En général, il est avantageux de broyer les roches, d'en séparer les grains, à l'aide d'une loupe et surtout à l'aide des procédés indiqués page 480. On étudie ensuite les grains de même nature; on en prend la densité (v. p. 13); puis on observe au chalumeau, s'ils sont fusibles, s'ils fondent avec bouillonnement, boursoufflement, exfoliation, en dégageant de la vapeur d'eau; on examine s'ils sont solubles dans les acides, avec ou sans dépôt de silice gélatineuse ou pulvérulente; on les essaie par les procédés microchimiques (p. 241).

La considération de la couleur est fort utile pour les matières métalliques; il est vrai que les pierres (silicates, aluminates, etc.) colorées sous une certaine épaisseur deviennent presque ou tout à fait incolores en lames minces; mais lorsqu'elles sont transparentes et restent colorées, on peut y étudier le pléochroïsme, et on a recours enfin à l'examen des contours géométriques et des propriétés optiques.

Pour les éléments qu'on peut isoler, la couleur est le caractère le plus vite observé, puisqu'il n'exige d'autre instrument que l'œil de l'observateur; généralement elle ne suffit pas, mais elle restreint le choix des hypothèses qu'on peut faire sur la nature des matières qu'on examine. Un autre caractère facile encore à constater est celui de la dureté; on reconnaît par exemple très rapidement, parmi les masses minérales importantes pierreuses, le gypse et le talc qui se rayent avec l'ongle et, parmi les métal-

liques, le graphite, la molybdénite, la stibine même, assez tendres pour laisser leurs traces sur le papier. D'autres ne se rayent pas avec l'ongle, mais elles sont rayées par la pointe de burin ou même d'un canif, par exemple le calcaire, les sulfates, la plupart des phosphates et un grand nombre de silicates qui se distinguent ainsi d'un grand nombre de silicates durs et de gemmes appartenant à ce dernier groupe ou à d'autres : corindons, spinelles, etc.

Les faces de clivages présentées par certains minéraux dans les roches sont aussi d'une grande utilité. Elles permettent de distinguer dans un granite le quartz qui ne se clive pas du feldspath et du mica. D'autres espèces minérales présentent souvent une structure fibreuse.

La considération des clivages est du plus haut intérêt, même au point de vue pratique.

Parmi les silicates rayés par un burin se distinguent ceux à structure plus ou moins foliacée qui se clivent généralement en lames hexagonales, ou plus souvent dans les roches schisteuses, suivant des surfaces membraneuses plus ou moins plissées, striées. Tels sont les *micas* et toutes leurs variétés, toutes à couleurs vives en lumière polarisée, les variétés de chlorite souvent dichroïques, le *talc*, la *pyrophyllite*.

Toutes ces matières, à l'exception de la *kämmérérite* qui fait partie des micas, sont négatives ; toutes contiennent de l'alumine, à l'exception du talc qui est assez tendre pour être rayé par l'ongle, comme la pyrophyllite qui varie de 2,7 à 3, excepté dans certains micas dont la densité atteint 3,1. On peut classer à la suite des micas les *clintonites* (*sismondine*, *brandisite*, *chloritoïde*, *masonite*) où la densité est voisine de 3,5 et la dureté de celle de l'acier, qui les raie pourtant encore ; l'on y observe généralement un dichroïsme très brillant. La *xanthophyllite* est un peu moins dure, et la densité n'y est que de 3. Toutes sont difficilement fusibles. On peut aussi, au point de vue du clivage, mentionner les variétés de serpentines laminaires.

Les silicates à clivages vraiment laminaires ou lamellaires, sans

structure véritablement feuilletée, sont les feldspaths; ils sont tous plus durs que l'acier et difficilement fusibles. Leurs caractères ont été décrits avec assez de détails pour qu'il soit inutile d'y revenir ici. Les très petits cristaux y ont une tendance à l'allongement vertical, mais celui-ci est accompagné de groupements répétés avec inversions qui les fait vite distinguer de ceux d'amphibole, de pyroxène et en général des cristaux à structure vraiment fibreuse.

Nous présentons ici une série de tableaux pratiques, où nous avons groupé les espèces minérales des roches, d'après leurs couleurs, leur densité, leur fusibilité au chalumeau, leur solubilité dans les acides, leurs éléments chimiques (essais microchimiques), leurs formes cristallines, leurs propriétés optiques les plus rapides à constater dans les lames minces. On commencera l'étude des éléments de la roche par un de ces tableaux ou par l'autre, suivant les circonstances, suivant les instruments qu'on a à sa disposition et l'habitude qu'on a de les manier.

Le tableau I convient spécialement aux matières métalliques à poussière colorée; le tableau II aux éléments des roches qu'on peut isoler les uns des autres; le tableau III est dressé pour les silicates, dont la solubilité dans les acides est un des caractères les plus importants; les tableaux IV à VII peuvent servir, en général, à la détermination *des éléments essentiels* et accidentels des roches

TABLEAU I **Couleurs**

Substances à éclat métallique :

Violettes ou d'un rouge violacé, à poussière noire : *Breithauptite*, NiSb (hexagonal); *Phillipsite* (Cu^3FeS^3), cubes groupés confusément, masses irisées intérieurement.

Bleues : *Lapis*, silicate.

Rouges, à poussière rouge :

Poussière métallique : *Cuivre natif.*

Poussière terreuse : *Cuprite* (Cu^2O), translucide, octaèdres, ou sous des formes cubiques; *oligiste* (Fe^2O^3), sous des formes hexagonales, rhomboédriques, lamellaires, fibreuses, oolithiques, terreuses.

Brun jaunâtre ou jaune de bronze et poussière noire : *Pyrite magnétique* (Fe^nS^{n+1}) ou *troïlite* (FeS), clivages hexagonaux, formes hexagonales; *stannine*, sulfure de cuivre, étain, zinc.

Jaune tendant au rouge de cuivre: *Nickéline* (NiAS), hexagonale; poussière noire.

Jaune d'or, à poussière métallique : *Or natif.*

A poussière noire ou d'un noir verdâtre : *Pyrite* (FeS^2, formes cubiques avec hémiédrie pentagonale; *marcassite* (FeS^2), formes orthorhombiques, macles, groupes sphéroïdaux, cylindroïdaux, etc.; *millérite* (NiS), rhomboédrique en aiguilles ou fibres cristallines; d'un jaune d'or verdâtre : *Chalkopyrite*, sulfure de cuivre et de fer, souvent irisée.

Noires, à poussière jaune ou brune : *Goethite*, translucide, en lames, en aiguilles orthorhombiques; *limonite*, en formes épigéniques, en concrétions, en oolithes, pisolithes, oxydes de fer hydraté; *alabandine*, *hauérite*, sulfures et bisulfures de manganèse, cubiques; *chromite*, en grains octaédriques, en masses à éclat résineux, fer chromé; *ilvaïte*, silicate de fer orthorhombique; *péchurane*, oxyde d'urane; *crednérite*, oxyde de manganèse et de cuivre, monoclinique; *ilménite*, fer titané rhomboédrique; *wolfram*, tungstate de fer et de manganèse, en cristaux presque orthorhombiques, avec clivages nets; *pérowskite*, translucide, titanate de chaux et de fer, en cubes à hémiédrie parallèle; *polycrase*, titanoniobate de fer, yttria, etc.; *æschynite*, titanoniobate: *columbite*, fergusonite, euxénite, tantaloniobates, quelques lignites, etc.

A poussière d'un vert foncé : *Cronstedtite*, silicate de fer; d'un noir bleuâtre : *Covelline*, noir bleuâtre.

A poussière presque incolore : *Blende* (ZnS), souvent transparente, avec clivages menant au dodécaèdre rhomboïdal, éclat résineux; *grenats noirs* cubiques, se décolorant au feu.

A poussière noire : *Pyrolusite* (MnO^2); *magnétite* (Fe^3O^4), en grains octaédriques, en masses, etc.; *tantalite*; *laurite*, sulfure de ruthénium et d'os-

mium ; *sysserkite*, osmiure d'iridium ; *enargite* ; *panabase*, sulfoantimoniure de cuivre, argent, zinc, etc., en formes tétraédriques ; *hessite*, tellurure d'argent cubique ; *argyrose* (Ag^2S) cubique, très mou ; *psaturose*, sulfoantimoniure d'argent, orthorhombique, pseudohexagonal ; *freieslébénite*, sulfoantimoniure d'argent et de plomb, clinorhombique ; *chalkosine* (Cu^2S), orthorhombique ; *nadelerz*, sulfobismuthure de cuivre et de plomb, etc. ; *molybdénite* (MoS^2) ; *anthracite*.

Blanc d'argent, à poussière gardant l'éclat métallique : *Argent natif* ; *discrases*, antimoniures d'argent ; *amalgames* (Hg^nAg) ; *arquérites* ($HgAg^n$) ; *antimoine natif*.

Gris de plomb ou d'acier, blanc d'étain, à poussière noire : *Galène* (PbS) et *clausthalie*, reflets bleus, clivages cubiques ; *altaïte* (PbTe) ; *nagyagite*, sulfure de plomb et d'or ; *stibine*, à clivage unique, large (Sb^2S^3) ; *mispickel* [$Fe(S,As)^2$] ; *glaucodot* [$(Fe, Co)(S,As)^2$] ; *cobaltine* [$(Co, Fe)(S,As)^2$], à reflets rosés ; *smaltine* [$(Co,Ni,Fe)As^2$] ; *cloanthite* [$((Ni,Co,Fe)As)^2$] ; *linnéite* (Co^3S^4) ; *graphite* (C) ; *molybdénite* (MoS^2) ; *palladium natif*, *platine natif*, *iridium natif* ; *laurite* [$(Ru,Os)^2S^3$] ; *sylvanite* [$(Au,Ag)Te^2$] ; *tellure natif* ; *tromeyérine* (Cu^2SAg^2S) ; *sternbergite* ($Ag^2SFe^4S^7$) ; *psaturose*, sulfoantimoniure d'argent ; *bournonite*, sulfoantimoniure de plomb et de cuivre ; les *sulfoarséniures* et *sulfoantimoniures de plomb*, etc.

Minerais à éclat vitreux ou peu métallique, à poussière colorée, plus ou moins transparents :

Violets : Erythrine ($3CoOAz^2O^5 3aq$) ; *rhodonite* ($MnOSiO^2$), rose ; *dialogite* ($MnOCO^2$, rose ; *friedélite*, silicate hydraté de manganèse, rose.

Rouges : *Cinabre* (HgS), rouge vermillon ; *proustite* ou *rosiclair* ($3Ag^2S As^2S^3$) ; *pyrargyrite* ($3Ag^{2}Sb^2S^3$) ; *kermès* ($2Sb^2S^3,Sb^2O^3$) ; *oligiste* (Fe^2O^3) ; *cuprite* (Cu^2O) ; *réalgar* (AsS), poussière orangée ; *crocoïse* ($PbOCrO^3$), poussière orangée ; *zincite* [$(Zn,Mn)O$], poussière orangée ; les argents rouges, l'oligiste, la cuprite ont souvent superficiellement une couleur noire et un éclat métallique.

Jaunes, à poussière jaune : *Limonite* ($Fe^2O^3 3H^2O$) ; *autunite*, phosphate de chaux et d'urane ; *greenockite* (CdS) ; *orpiment*, jaune d'or ; *massicot* ; *fibroferrite*, sulfate hydraté de fer ; *jarosite*, sulfate hydraté d'alumine et de potasse ; *soufre natif* ; *mellite* ; *succin*.

Bruns, à poussière rougeâtre : *Pyrochlore*, cubique ; *xénotime*, phosphate d'yttria, d'erbine, etc.) ; à poussière jaune : *catapléite*, silicate de zircone, etc. ; *thorite*, silicate de thorium ; *monazite*, phosphate de cérium, etc. ; *hubnérite*, tungstate de manganèse ; *arséniosidérite* ; *élatérite*, hydrogène carboné ; *lignite* ; *ozocérite*.

Verts (d'un vert d'herbe ou émeraude), à poussière verte : les sulfates, arséniates, phosphates et quelques silicates de cuivre ou de nickel ; *vauquelinite*, chromate de plomb et de cuivre ; quelques carbonates et phosphates d'urane avec ou sans cuivre ; *malachite*, hydrocarbonate de cuivre.

Verts (d'un vert de gris) : Phosphates et arséniates de fer.

Bleus, à poussière bleue : *Chessylite*, hydrocarbonate de cuivre ; *boléite*,

chlorure hydraté de cuivre, plomb, argent; *dumortiérite*, silicate d'alumine; *liroconite*, phosphoarséniate d'alumine et de cuivre; *turquoise*, phosphate d'alumine cuprifère; *turquoise de la nouvelle roche*, ivoire fossile; *lapis lazuli* (v. *Silicates*); *vivianite*, phosphate hydraté de fer; *crocidolite*, silicate hydraté d'alumine, fer, soude, etc.

Noirs, à poussière brune ou jaune : *Pérowskite*, titanate de chaux et de fer.

Bruns, noirs, jaunes, roussâtres, à poussière incolore ou peu colorée : *Blende ferrifère*, *cassitérite*, oxyde d'étain.

Les silicates, oxydes, carbonates et autres combinaisons qui présentent des colorations accidentelles et variables sont indiqués dans les tableaux des caractères géométriques et optiques.

Nous ne mentionnerons ici parmi les plus fréquentes que :

Violettes : *axinite*, *eudialyte*, *kämmérérite*.

Roses : *thulite*, *rhodonite*, *spinelle*, *corindon*, *quartz*.

Rouges : *corindon* (rubis), *spinelle*, *grenat*, *tourmaline*, *zircon*, *feldspath*.

Roussâtres : *idocrase*, *sphène*, *grenat*, *topaze*.

Orangés : *spinelle*, *grenat*, *zircon*, *orangite*.

Jaunes : *béryl*, *topaze*, *chrysobéryl*, *grenat*, *spinelle*, *corindon*, *péridot*, *épidote*, *bronzite*, *quartz*.

Vert bouteille : *épidote*, *idocrase*, *olivine*, *diallage*, *serpentine*, *jade*, *diopside*, *actinote*, *gahnite*, *sphène*, *tourmaline*.

Vert aigue-marine : *béryl*, *topaze*, *corindon*, *tourmaline*.

Vert d herbe : *émeraude*, *dioptase*, *chlorites*, *corindon*, *tourmaline*, *alexandrite*, *grenat*.

Bleu verdâtre : *quartz*, *tourmaline*, *euclase*, *corindon*, *béryl*, *amazonite*, *topaze*, *klaprothine*.

Bleues : *saphir*, *saphir d'eau*, *disthène*, *béryl*, *idocrase*, *glaucophane*, *tourmaline*, *amazonite*.

Noires : *hornblende*, *augite*, *gadolinite*, *orthite*, *micas*, *quartz*, *fayalite*, etc.

TABLEAU II

Densités

Espèces minérales des roches massives, schisteuses, sédimentaires. Les espèces en italiques sont celles qui ont généralement des couleurs claires ou qui sont incolores et qui en lames minces n'offrent que des colorations insensibles.

	DENSITÉS
Magnésite	1,2 à 1,6
Allophane	1,85 à 2
Faujasite	1,92
Argile	1,7 à 2,7
Smectite	1,7 à 2,4
Chlorophœite	1,8 à 2
Collyrite	2 à 2,15
Gismondine	2,1
Chabasie	2,1
Stilbite	2,15
Lévyne	2,15
Heulandite	2,18
Christianite	2,18
Gmélinite	2,04 à 2,19
Mésotype	2,2
Opale	2 à 2,2
Rétinite	2,2
Chrysocole	2 à 2,2
Analcime	2,25
Scolésite	2 à 2,3
Sel gemme	2,1 à 2,6
Saponite	2,26
Oxyde de chrome	2,2 à 2,3
Bois	2,24
Noséane	2,26
Sodalithe	2,28
Glauconie	2,2 à 2,4
Brucite	2,2 à 2,4
Tridymite	2,28
Eudnophite	2,3
Okénite	2,3
Brewstérite	2,2 à 2,4
Laumonite	2,2 à 2,35
Obsidienne	2,2 à 2,4
Rubellane	2,3
Glauconie	2,2 à 2,4
Thomsonite	2,35
Cronstedtite	2,35
Ittnérite	2,38
Perlite	2,2 à 2,5
Apophyllite	2,35
Mésolite	2,39
Amphigène	2,45 à 2,5
Palagonite	2,4 à 2,6
Idocrase	2,35 à 2,45
Haüyne	2,43 à 2,53

	DENSITÉS
Néphéline	2,54 à 2,64
Hyalomélane	2,56 à 2,59
Sordowalite	2,53 à 2,58
Cordiérite	2,5 à 2,64
Calcédoine	2,6
Pholérite, *Nacrite*	2,6
Eléolithe	2,63
Kämmérérite	2,62 à 2,65
Quartz	2,65
Picrosmine	2,59 à 2,66
Chrysotile, Picrolite, Bastite, Serpentines	2,5 à 2,7
Alunite	2,59 à 2,75
Emeraude	2,67 à 2,75
Calcaire	2,7
Edingtonite	2,7
Leuchtenbergite	2,7
Feldspaths	2,53 à 2,75
Vermiculite	2,756
Talc	2,6 à 2,8
Pyrophyllite	2,785
Glaucolithe	2,65 à 2,79
Couséranite	2,7 à 2,76
Clinochlores, Pennine	2,62 à 2,76
Wernérites	2,67 à 2,78
Eudnophite	2,8
Sarcolithe	2,58 à 2,9
Pollux	2,86 à 2,89
Pectolite	2,8
Pinite	2,7 à 2,9
Catapléite	2,8
Wollastonite	2,8 à 2,9
Micas	2,78 à 3
Dolomie	2,9
Datholite	2,8 à 3
Hisingérite	2,79 à 3
Delessite	2,89
Isopyre	2,9
Humboldtilite	2,9 à 2,95
Aragonite	2,95 env.
Villarsite	2,98
Carpholite	2,935

	DENSITÉ
Mosandrite	2,95 à 3
Gehlénite	2,9 à 3
Leucophane	2,96
Mélinophane	3
Asbeste	3
Smaragdite	3
Macle ou *Chiastolite*	3
Jade	2,96 à 3,1
Amblygonite	3,1
Fluorine	3 à 3,2
Diaclasite	3,05
Rabenglimmer	3,1
Glaucophane	3,1
Bronzite	3,12
Jadéite	3,2
Trémolite	2,9 à 3,2
Biotites	3,2
Ottrélite	3 à 3,2
Tourmalines	3 à 3,2
Andalousite	3,16 à 3,2
Actinote	2,8 à 3,3
Violane	3,23
Humite	3,15 à 3,24
Crocidolite	3,2 à 3,3
Axinite	3,29 à 3,32
Diopside	3,3
Diallage	3,2 à 3,3
Astrophyllite	3,3
Epidote	3,22 à 3,49
Euclase	3,3
Orthite	3,1 à 3,4
Augite	3,3 à 3,45
Hornblende, Pargasite	3 à 3,4
Hypersthène	3,39
Péridot	3,3 à 3,4
Idocrase	3,35 à 3,45
Dumortiérite	3,36
Cérite et Allanite	3,37
Warwickite	3,35 à 3,4
Breunérite	3,38
Chamoisite, Berthiérite	3 à 3,4
Wöhlérite	3,41
Piémontite	3,4

TABLEAU II **Densités** (*Suite*).

	DENSITÉS		DENSITÉS		DENSITÉS
Collyrite	3,43	Ægyrine	3,5 à 3,59	Anatase	3,9
Calamine	3,3 à 3,5	Spinelle	3,58	Rutile	4
Diaspore	3,2 à 3,3	Sismondine	3,5 à 3,58	Hématite	3,8 à 4,2
Saphirine	3,47	Chloritoïde		Gavolinite	4,39
Jeffersonite	3,31 à 3,5	Keilhanite	3,53 à 3,73	Tritomite	4,16 à 4,75
Arfvedsonite	3,44 à 3,59	Disthène	3,58 à 3,68	*Barytine*	4,3 à 4,7
Bucklandite	3,5	Pyrope	3 7 à 3,8	Thorite et	
Sphène	3,3 à 3,7	Almandin	3,5 à 4,5	Orangite	4,6 à 5,2
Brandisite	3,2 à 3,7	Spessartine	3,8 à 4,2	Xénotime	4,45 à 4,59
Grossulaire	3,4 à 3,6	Malacon	3,9 à 4	Zircon	4,5 à 4,7
Topaze	3,52 à 3,56	Picotite	4,08	Magnétite	4,9 à 5,2
Disthène	3,58 à 3,68	Téphroïte	4	Cérérite	4,9 à 5
Staurotide	3,4 à 3,8	Rubis	4 à 4,1	Monazite	5 à 5,3
Rhodonite	3,42 à 3,6	Fayalite	4,1	Cassitérite	6,9 à 7,1
Achmite	3,53	Ilvaïte	3,9 à 4,1		

TABLEAU III **Éléments chimiques**

SILICE SEULE : Quartz et ses variétés.

SILICE et ZIRCONE : Zircon, malacon.

SILICE et CHAUX : *Wollastonite*; — HYDRATÉS : *Okénite*.

SILICE et MAGNÉSIE : ANHYDRES : Humite (un peu de Fl); — HYDRATÉS, *Talc*, *villarsite*, *magnésite*.

SILICE et GLUCINE : ANHYDRE : *Phénacite*.

SILICE et THORINE : Thorite.

SILICE et OXYDES MÉTALLIQUES proprement dits : ANHYDRES : Fayalite (Fe,Mn) ; téphroïte (Mn); rhodonite (Mn,Fe); willémite (Zn); — HYDRATÉS : Glauconie (Fe, parfois Al,K) ; hisingérite (Fe); chlorophœite (Fe); dioptase (Cu); chrysocole (Cu); cérérite (Ce,La,Di); gadolinite (Ce, Fe,Y).

SILICE, CHAUX et ALCALIS : HYDRATÉ : *Apophyllite* (K,Fl).

SILICE, CHAUX, GLUCINE et ALCALIS : ANHYDRE : Mélinophane (Fl)

SILICE, CHAUX, OXYDES MÉTALLIQUES : ANHYDRES : Hédenbergite (Fe) ; babingtonite (Fe); jeffersonite (Fe,Mn); ægyrine (Fe,Mn); mélanite (Fe, Ca); ouwarowite (Ca,Cr) ; tritomite (Ce,La,Di).

SILICE, CHAUX, MAGNÉSIE : ANHYDRES : Quelques *trémolites* ; *monticellite*; quelques *asbestes*.

SILICE, MAGNÉSIE et OXYDES DE FER : ANHYDRES : *Péridot* ; *enstatite* ; *bronzite* ; hypersthène; *anthophyllite*; — *Diopside*, diallage; néphrite; actinote; quelques trémolites; jades; asbestes. HYDRATÉS : Serpentine, picrosmine.

SILICE, OXYDES DE FER, ALCALIS : ANHYDRES : Arfvedsonite (Na); achmite (Na); crocidolite (Na, Kau).

SILICE, ALUMINE : ANHYDRES : *Sillimanite*, *bucholzite*, *macle* ou *chias-*

TABLEAU III **Éléments chimiques** (*Suite*).

tolithe, *disthène*, dumortiérite (un peu de Fe); *topaze* (Fl); — HYDRATÉS : *Pholérite*; *nacrite*; *kaolin*; *pyrophyllite*; *argile*; *smectite*.

SILICE, ALUMINE, ALCALIS : ANHYDRES : *Amphigène* (K); *néphéline* (Na); *jadéite* (Na); *orthose* et *anorthose* (K,Na); *albite* (Na,K); *pollux* (Cs); *pétalite* (Li); obsidienne (K, un peu de Fe); — HYDRATÉS : *Analcime*, *mésotype*, *éléolithe* (Na); *pinite* (K); quelques glauconies (K); micas (variétés potassiques, contenant peu ou pas de Mg,Fl,Li).

SILICE, ALUMINE, CHAUX : ANHYDRES : *Anorthite*; *grossulaire* (souvent un peu de Fe); — HYDRATÉS : *Epistilbite*; *scolézite*; *brewstérite* (un peu de Ba,Sr); *edingtonite* (Ba, pas de Ca).

SILICE, ALUMINE, MAGNÉSIE : ANHYDRES : Micas (souvent un peu de K ou même de Li et de Fl, un peu d'eau); — HYDRATÉS : *Leuchtenbergite*.

SILICE, ALUMINE, GLUCINE : Émeraude; — HYDRATÉ : *Euclase*.

SILICE, ALUMINE, OXYDES MÉTALLIQUES : ANHYDRES : Almandin (Fe); spessartine (Mn); cronstedtite (Fe); ottrélite (Fe,Mn); staurotide (un peu de Fe); *sarcolithe* (peu de Fe); micas; — HYDRATÉS : Lépidomélane, rabenglimmer.

SILICE, ALUMINE, CHAUX, ALCALIS : ANHYDRES : Glaucolithe (un peu de Fe,Na); *labrador*, *oligoclase*, *andésine* (K,Na); — HYDRATÉS : *Gismondine* (Na,K); *gmélinite* (Na); *chabasie* (Na); *thomsonite* (Na); *stilbite* (Na); *heulandite* (Na); *christianite* (Na); *pectolithe* (Na); *faujasite* (Na); *harmotome* Ba, sans Ca).

SILICE, ALUMINE, CHAUX, OXYDES DE FER ou DE MANGANÈSE : ANHYDRES : Isopyre; épidote; idocrase; bucklandite; glaucolithe; piémontite (Mn); orthite (Ce,La, etc., un peu d'eau); gadolinite (Y,Ce).

SILICE, ALUMINE, MAGNÉSIE, OXYDE DE FER : ANHYDRE : Cordiérite; — HYDRATÉS : Clinochlores; pennines; sismondine; chloritoïdes.

SILICE, ALUMINE, MAGNÉSIE, CHAUX, OXYDES DE FER : ANHYDRES : *Anthophyllite*; *gédrite* (souvent un peu d'eau et très peu d'Al); hornblende; augite; smaragdite (un peu de Mn); brandisite; — HYDRATÉS : Hornblende décomposée; delessite.

SILICE, ALUMINE, OXYDES DE FER, ALCALIS : ANHYDRE : Astrophyllite.

SILICE, ALUMINE, OXYDES DE FER, CHAUX, ALCALIS : Arfvedsonite (Na); perlite (un peu de Mn).

SILICE, ALUMINE, MAGNÉSIE, OXYDES DE FER, CHAUX, ALCALIS : Glaucophane.

SILICE, ZIRCONE, CHAUX, SOUDE, OXYDES DE FER et DE MAGANÈSE : Eudialyte, catapléite.

SILICE, ACIDE TITANIQUE, CHAUX : Sphène.

SILICE, ACIDE TITANIQUE, OXYDES DE CÉRIUM, etc. : Mosandrite.

SILICE, ACIDE TITANIQUE, MAGNÉSIE, OXYDES DE FER : Warwickite (MgO,FeO); — MÊMES ÉLÉMENTS avec CHAUX : Hyalomélane; tachylite; palagonite.

TABLEAU III. **Éléments chimiques** (*Suite*).

SILICE, YTTRIA et CHAUX : Keilhauite.

SILICE, ACIDE NIOBIQUE, ZIRCONE et CHAUX : Wöhlérite.

SILICE, ACIDE BORIQUE, CHAUX : ANHYDRE : *Danburite* ; — HYDRATÉ : Datholite.

SILICE, ACIDE BORIQUE, CHAUX : Axinite (Mn); tourmalines (Al^2O^3, oxydes de fer, lithine, magnésie, fluor).

SILICE, ACIDE CHLORHYDRIQUE, OXYDES DE FER et DE MANGANÈSE : Pyrosmalite.

SILICE, ALUMINE, SOUDE (Cl combiné) : *Sodalithe.*

SILICE, ALUMINE, CHAUX, ALCALIS (acide sulfurique) : Haüyne, Lapis (S).

MÊMES ÉLÉMENTS (eau en plus grande quantité) : Ittnérite.

TABLEAU IV (1).

Espèces classées d'après leurs duretés.

De 1 à 2	
Gypse	1,5
Talc	1,5
Pyrophyllite	1
Kämmérérite	1,5 à 2
Argiles	
Saponite	1,5
Allophane	1 à 2
Vermiculite	2

De 2 à 3	
Sel gemme	2,5
Leuchtenbergite	2,5
Chrysocole	2,5
Magnésite	2,5
Cronstedtite	2,5
Eléolithe	2,5
Clinochlore	2,5
Rubellane	2,5
Delessite	2,5
Micas	2 à 3

De 2 à 3 (*Suite*)	
Pinite	2 à 3
Pennine	2 à 3
Collyrite	2,5 à 3
Barytine	2,5 à 3,5
Calcaire	3
Serpentines	3
Picrosmine	3
Astrophyllite	3
Lépidomélane	3
Hisingérite	3
Chamoisite	3

De 3 à 4	
Pholérite	3 à 3,5
Nacrite	3 à 3,5
Laumonite	3 à 3,5
Heulandite	3,5
Vermiculite	3 à 4
Alunite	3,5 à 4
Dolomie	3,5 à 4
Aragonite	3,5 à 4

De 3 à 4 (*Suite*)	
Breunérite	3,5 à 4
Diaclasite	3,5 à 4
Fluorine	4
Leucophane	4
Mosandrite	4
Hédenbergite	4
Diallage	4
Thorite	4
Lévyne	4

De 4 à 5	
Chabasie	4 à 4,5
Gismondine	4,5
Gmélinite	4,5
Epistilbite	4,5
Okénite	4,5
Christianite	4,5
Harmotome	4,5
Crocidolite	4,5
Jeffersonite	4,5
Apophyllite	4,5 à 5

(1) Ce tableau convient au cas où les éléments sont distincts les uns des autres à l'œil nu.

TABLEAU IV.

Espèces classées d'après leurs duretés (*Suite*).

De 4 à 5 (*Suite*)

Edingtonite	4,5	à 5
Xénotime	4,5	à 5
Faujasite	5	
Apatite	5	
Mélinophane	5	
Calamine	5	
Wollastonite	5	
Euclase	5	
Carpholite	5	
Pectolithe	5	
Ittnérite	5	
Eléolithe	5	
Palagonite	5	
Sordawalite	5	
Villarsite	5	
Ottrélite	5	
Smaragdite	5	
Œgyrine	5	
Hématite	5	

De 5 à 6

Mésotype	5	à 5,5
Scolésite	5	à 5,5
Brewstérite	5	à 5,5
Humboldtilite	5	à 5,5
Eudialyte	5	à 5,5
Sphène	5	à 5,5
Datholite	5,5	
Analcime	5,5	
Mésolite	5,5	
Asthrophyllite	5,5	
Enstatite	5,5	
Monticellite	5,5	
Trémolite	5,5	
Actinote	5,5	
Jade	5,5	
Hornblende	5,5	
Arfvedsonite	5,5	
Glaucophane	5,5	
Lapis	5,5	
Tritomite	5,5	

De 5 à 6 (*Suite*)

Téphroïte	5,5	
Sismondine	5,5	
Cérite, Allanites	5	à 6
Orthites	4	à 6
Monazite	5,5	
Gehlénite	5	à 6
Disthène	5	à 6
Cérérite	5,5	
Wernérites	5	à 6
Diopside	5	à 6
Rétinite	5,5	à 6
Haüyne	5,5	à 6
Glaucolithe	5,5	à 6
Couséranite	5,5	à 6
Rétinite	5,5	à 6
Hypersthène	5	à 6
Bronzite	5	à 6
Wöhlérite	5	à 6
Brandisite	5	à 6
Babingtonite	5	à 6
Isopyre	5	à 6
Anatase	5,5	à 6
Ilvaïte	5,5	à 6
Pollux	5,5	à 6
Sarcolithe	6	
Perlite	6	
Amblygonite	6	
Sodalithe	6	
Noséane	6	
Obsidienne	6	
Catapléite	6	
Arfvedsonite	6	
Violane	6	
Magnétite	5,5	à 6,5
Rhodonite	5,5	à 6,5

De 6 à 7

Rutile	6	à 6,5
Pétalite	6	à 6,5
Feldspaths	6	à 6,5
Achmite	6	à 6,5
Eudnophite	6,5	
Tridymite	6,5	

De 6 à 7 (*Suite*)

Calcédoine	6,5	
Opale	6,5	
Jadéite	6,5	
Tachylite	6,5	
Idocrase	6,5	
Humites	6,5	
Epidote	6,5	
Piémontite	6,5	
Bucklandite	6,5	
Fayalite	6,5	
Gadolinite	6,5	
Obsidienne	6	à 7
Sillimanite	6	à 7
Cassitérite	6	à 7
Keilhauite	6	à 7
Diaspore	6,5	à 7
Grenats clairs	6,5	à 7
Péridot	6,5	à 7
Quartz	7	
Danburite	7	

De 7 à 8

Cordiérite	7	à 7,5
Staurotide	7	à 7,5
Almandin, Pyrope, Spessartine	7	à 7,5
Emeraude	7,5	
Tourmaline	7,5	
Andalousite	7,5	
Zircon	7,5	
Saphirine	7,5	

De 8 à 9

Spinelle	8
Picotite	8
Topaze	8
Corindon	9
Rubis	9

TABLEAU V Solubilités dans les acides.

Solubles dans HCl		
	Silicates	
Solubles	faisant gelée	déposant silice
	Prehnite, après fusion.	*Faujasite.*
Brucite.	*Analcime.*	*Gismondine.*
Calcaire, effervescence.	*Néphéline.*	*Amphigène.*
Wavellite, difficilement.	*Edingtonite.*	*Gmélinite.*
Dolomie, très lentement.	*Eudnophite.*	*Chabasie.*
Apatite.	*Thomsonite.*	*Lévyne*
Aragonite, effervescence.	*Mésotypes.*	*Apophyllite.*
Amblygonite.	*Mésolite.*	*Wernérites.*
	Stilbite.	*Heulandite.*
La plupart des métaux et leurs alliages.	*Epistilbite.*	*Brewstérite.*
	Okénite.	*Harmotome.*
Stibine.	*Scolésite.*	*Anorthite.*
Galène.	*Laumonite.*	*Pollux.*
Pyrrhotine.	*Christianite.*	*Allophane.*
Zinckénit.	*Humboldtilite.*	Chrysocole.
Jamesonit.	*Sarcolithe.*	*Magnésite.*
Calomel.	*Calamine.*	*Pectolithe.*
Atacamite.	*Monticellite.*	*Pinite.*
Cuprite.	*Wollastonite.*	*Stéatite.*
Zincite.	*Datholite.*	Glauconite.
Oxydes de fer.	Grenats, après fusion.	Lépidomélane.
— de manganèse.	Sodalithe.	Rabenglimmer.
— d'antimoine.	Noséane.	Astrophyllite.
Phosphates.	Ittnérite, dégage HS.	Wöhlerite.
	Haüyne, id.	Mosandrite.
	Lapis, id.	Cérite et Allanites, après calcination.
Soluble dans l'eau.	Dioptase.	Orthites, id.
Sel gemme.	Palagonite.	Sordawalite.
	Idocrase, après fusion.	Chonikrite.
	Gehlénite.	Epistilbite.
Avec SO^3 dégage HFl, $CaFL^2$	Eudialyte.	Lépidomélane.
	Catapléite.	Amphigène.
	Péridot.	Stilbite.
	Epidote, après calcination.	Tachylite.
	Piémontite, id.	Pyrorthite.
	Axinite, après fusion.	Pyrosclérite.
	Chamoisite et Berthiérite.	Phonolithe, en partie.
	Grenats, après fusion.	Pyrochlore.
	Tritomite et Orangite.	Pyrorthite, résidu charbonneux.
	Ilvaïte.	
	Téphroïte.	
	Gadolinite.	
	Cérérite.	
	Collyrite.	
	Crocidolite.	
	Eudialyte.	
	Fayalite.	
	Gadolinite.	
	Ittnérite.	
	Thorite.	

TABLEAU V.

Solubilité dans les acides (*Suite*.

Difficilement solubles dans HCl. Les silicates avec dépôt de silice.	Insolubles dans HCl	Attaquables par acide sulfurique.
Talc.	Quartz.	*Gibbsite.*
Labrador.	Émeraude.	Euclase.
Argiles.	*Tridymite.*	Sphène en poudre, difficilement.
Pyrophyllite.	*Gypse.*	Glaucolithe.
Carpholite.	*Pectolithe.*	Couséranite.
Chrysotile.	*Orthose.*	Cordiérite.
Serpentines.	*Albite.*	Isopyre, partiellement.
Bols, partiellement.	*Oligoclase.*	Kämmérérite.
Ripidolithes, lentement.	*Obsidienne.*	Pennines.
Astrophyllite.	*Perlite.*	Clinochlores.
Magnétite, lentement.	*Calcédoine.*	Rubellane.
Oligiste, lentement.	Opales.	Biotite.
Glaucolithe.	Tourmalines.	Micas.
Couséranite.	*Mélinophane.*	Leuchtenbergite, difficilement.
Cordiérite.	*Diaspore.*	Ottrélite.
Isopyre, partiellement.	*Leucophane.*	Chloritoïdes.
Keilhauite.	*Anthophyllite.*	Brandisite.
Monazite.	Enstatite.	Sphène porphyrisé, difficilement.
	Bronzite.	Xénotime, lentement.
	Hypersthène.	Warwickite.
	Sillimanite.	Tourmaline, après fusion.
	Andalousite.	Serpentine.
	Mâcle.	Staurotide, en partie.
	Pyroxènes.	
	Amphiboles.	
	Diallage.	
	Jade.	
	Jadéite.	
	Danburite.	
	Grenats naturels.	
	Corindon.	
	Zircon.	
	Disthène.	
	Sillimanite.	
	Talc stéatite.	
	Pétalite.	
	Pyrrhite.	
	Rutile.	
	Saussurite.	
	Barytine.	
	Rétinite.	
	Villarsite.	
	Picrosmine.	
	Staurotide.	
	Dumortiérite.	
	Saphirine.	
	Babingtonite.	
	Jeffersonite.	

TABLEAU V.

Solubilité dans les acides (*Suite*).

Insolubles dans HCl.		
Violane.	Picotite.	Rhodonite.
Jadéite.	Ouwarowite.	Chloritoïde.
Céladonite.	Rubis.	Disthène.
Hisingérite.	Rutile.	Euxénite.
Euclase.	Anatase.	*Talc.*
Kaolin.	Cassitérite.	*Pyrophyllite.*
Hyperchlorites.	Zircon.	*Saussurite.*
Collyrite.	Œgirine.	*Orthose albite.*
Amphigène.	Achmite.	*Oligoclase.*
Triphane.	Disthène.	Émeraude.
Spinelles.		
Insolubles dans HFL.		
Zircon.	Tourmaline.	Spinelles, etc.

TABLEAU VI.

Fusibilité au chalumeau.

Facilement fusibles en globules	
incolores ou très clairs	foncés ou noirs
Danburite, limpide.	Bols.
Chabasie.	Obsidienne.
Stilbite.	Mosandrite, brun.
Analcime, id.	Ilvaïte, noir.
Edingtonite, id.	Axinite, vert pâle.
Sodalithe, id.	Lépidomélane (magnétique).
Faujasite, émail blanc.	Astrophyllite, id.
Gismondine, id.	Tourmalines ferrifères.
Lévyne, id.	Glaucophane, vert olive.
Apophyllite, id. (s'exfolie).	Fayalite, noir.
Thomsonite, émail blanc.	Wöhlérite, jaunâtre.
Mésotype, *Mésolite*, id.	Alvite, noir.
Epistilbite, id.	Grenats, brun ou noir.
Okénite, id.	Idocrase, brunâtre.
Heulandite, id.	Piémontite, noir.
Scolésite, id.	Allanites, magnétiques.
Laumonite, id.	Chlorophœite.
Christianite, id.	Stilpnomélane, noir, magnétique.
Wernérites, id.	Glauconie, noir grisâtre.
Obsidienne, *Rétinite*, id.	Céladonite.
Gmélinite, id.	Palagonite, noir.
Sarcolhite, id.	Hypersthène, id.
Cancrinite, id.	Jeffersonite, id.
Lapis, Haüyne, Noséane, id.	Hisingérite.

TABLEAU VI.

Fusibilité au chalumeau.

Facilement fusibles en globules	
incolores ou très clairs	foncés ou noirs
Chondrodite, globule clair.	Hédenbergite, id.
Leucophane.	Ægyrine, id.
Zoïsite.	Achmite, id.
Grenat grossulaire.	Babingtonite, id.
Anorthite et Labrador.	Augite, id.
Prehnite.	Hornblende, id.
La plupart des Pinites.	Chlorastrolite.
La plupart des Smectites.	Isopyre.
Triphane.	Chamoisite.
Eléolithe.	Pyrosclérite.
Fayalite.	Rhodonite.
Fluorine.	Les métaux excepté ceux du platine.
Cryolithe.	La plupart des sulfures simples ou complexes.
Senarmontite.	Les Tellurures.
	Les Chlorures.
	Cuprite, etc.
	Uranite.
	Vanadinite.
	Vermiculite, se tord.
	Wolfram.

TABLEAU VI.

Fusibilité au chalumeau (*Suite*).

Difficilement en globules	
incolores ou clairs	foncés ou noirs
Apatite.	Téphroïte, scorie noire.
Cordiérite.	Hisingérite, magnétique.
Phlogopite.	Cronstedtite, gris noirâtre.
Biotite.	Anthophyllite, magnétique.
Muscovite, gris, jaune.	Ripidolithe.
Tourmalines.	Clinochlores.
Willémite.	Quelques Pennines.
Pétalite.	Sordawalite.
Albite.	Pyrorthite.
Orthose.	Pyrosclérite.
Hyalophane.	Glaucolithe.
Oligoclase.	Epidote.
Andésine.	Cronstedtite.

TABLEAU VI.

Fusibilité au chalumeau (*Suite*).

Difficilement en globules

incolores ou clairs

Pétrosilex.	Diallage.
Porphyres pétrosiliceux.	*Wollastonite.*
Talc.	Noséane.
Pyrophyllite, s'exfolie.	*Néphéline.*
Serpentines.	*Humboldtilithe.*
Paragonite.	*Calamine.*
Pennine, s'exfolie.	*Zoïsite.*
Leuchtenbergite, id.	*Béryl.*
Margarite.	

TABLEAU VI.

Infusibles.

Le platine et les métaux qui lui sont associés.	Sillimanite.
Fer.	Dithène.
Carbone et ses variétés.	Cymophane.
Mélaconise.	Diaspore.
Oxydes d'alumine.	Gibbsite.
— de magnésie.	Pholérite.
— de fer.	Agalmatolite.
— de manganèse.	Halloysite.
— d'urane.	Lithomarge.
Aluminates.	Allophane.
Oxydes de titane.	Kaolin.
Zircon.	Argile à faïence.
Quartz.	Ouwaronite.
Corindon.	Amphigène.
Phénacite.	Topaze.
Péridot.	Chloritoïde.
Dioptase.	Tourmalines.
Humite.	Yttrocérite.
Andalousite.	Yttrotantalite.
	Pérowskite.

TABLEAU VII.

Formes géométriques et caractères optiques.

Espèces minérales plus ou moins répandues dans les roches groupées d'après leurs propriétés géométriques et optiques.

En lames minces, les colorations pâles disparaissent souvent.

C indique le système cubique; Q veut dire système quadratique; R représente le système rhomboédrique, H l'hexagonal. Le signe + ou — qui surmonte les lettres Q, R, H désigne le signe optique de l'axe de principale symétrie ou axe optique du cristal.

B^ce est une abréviation de bissectrice aiguë, et le signe + ou — écrit au dessus de la lettre B est le signe optique de cette bissectrice; ‖ ou ⊥ veulent dire parallèle ou perpendiculaire à la direction qui suit ces symboles abrégés.

α est, dans les systèmes uniobliques et biobliques, l'angle que la bissectrice aiguë fait dans le plan des axes avec l'arête *mm* ou *mt*; α est compté positivement dans le sens des aiguilles d'une montre, négativement en sens inverse.

TABLEAU VII.

Formes géométriques et caractères optiques (*Suite*).

I. — ESPÈCES CUBIQUES

Faujasite : C.
Gismondine : pseudo-cubique; groupements.
Amphigène : pseudo-cubique; sans doute Q.
Pollux : C.
Grenats : verdâtres, jaunâtres, noirs, mais blanchissant au feu, vert d'émeraude, pseudo-cubiques; montrent des anomalies optiques; rouges, d'un rouge hyacinthe, orangé, ne montrant que peu ou pas d'anomalies, c'est-à-dire optiquement isotropes.
Sodalithe : C; d'un vert bleu pâle.
Noséane : C; bleuâtre, brunâtre.
Itinérite : C; d'un gris foncé.
Haüyne : d'un bleu plus ou moins pâle; inclusions régulièrement arrangées.
Lapis : C; d'un bleu d'azur en masses; opaque.
Spinelle : C; rouge, brun, bleuâtre, vert, etc.; incolore en lames minces.
Picotite : C; noire superficiellement; en masse.
Helvine : C; tétraédrique.
Tritomite : C; tétraèdres, brun foncé.
Magnétite : C; noire, masse et poussière noires.
Thorite et Orangite : C; brun rougeâtre.
Pérowskite : pseudo-cubique; anomalies optiques; brun pâle.

TABLEAU VII.

Formes géométriques et caractères optiques (*Suite*).

II. — ESPÈCES QUADRATIQUES

Sarcolithe : $\overset{+}{Q}$; rose.

Zircon : $\overset{+}{Q}$; allongement ‖ à clivages *mm* (rouge, gris).

Xénotime : $\overset{+}{Q}$ (brun rougeâtre, jaunâtre).

Cassitérite : $\overset{+}{Q}$; couleurs vives (brun, poussière blanche).

Idocrase : $\overset{+}{Q}$; allongement axial (vert bouteille, brun).

Wernérites : $\bar{Q}$; allongement axial ; clivages *m*, h^1.

Glaucolithe : $\bar{Q}$; allongement axial (bleu pâle).

Couséranite : $\bar{Q}$; allongement axial (bleu indigo).

Humboldtite : $\bar{Q}$; clivage *p*.

Anatase : $\bar{Q}$; clivage *p* (bleu, verdâtre, etc.).

Edingtonite : $\bar{Q}$.

Gehlénite : $\bar{Q}$; brun, verdâtre ; allongement axial.

Apophyllite : $\overset{+-}{Q}$; anomalies (clivage *p*.)

Mélinophane : $\bar{Q}$ (clivage *p*).

Leucophane : pseudo $\bar{Q}$ (clivage *p*).

III. — ESPÈCES HEXAGONALES

Émeraude : $\bar{H}$; allongement axial (vert, brun, jaune, bleu verdâtre, etc.).

Néphéline : $\bar{H}$; fendillement axial.

Eléolithe : $\bar{H}$; éclat gras.

Cancrinite : $\bar{H}$; allongement axial.

Apatite : $\bar{H}$; allongement axial.

Cronstedtite : $\bar{H}$; clivage *p* (noir, opaque).

Ottrélite : pseudo $\bar{H}$; polychroïque.

Catapléite : $\bar{H}$ (brun jaunâtre).

Chloritoïde : pseudo $\overset{+}{H}$; allongement négatif.

Pyrite magnétique : $\bar{H}$; jaune de bronze, brun ; clivages *p*, *m*.

Clintonite : pseudo $\bar{H}$; allongement positif.

TABLEAU VII.

Formes géométriques et caractères optiques (*Suite*).

IV. — ESPÈCES RHOMBOÉDRIQUES

Brucite : $\overset{+}{R}$; variétés à allongement axial; cristaux superposés accolés suivant a^1.

Quartz : $\overset{+}{R}$; allongement axial.

Gmélinite : $\overset{+}{R}$.

Chabasie : $\overset{+}{R}$; groupements.

Alunite : $\overset{+}{R}$; allongement axial.

Lévyne : $\overset{+}{R}$; clivage a^1.

Eudialyte : $\overset{+}{R}$; clivage a^1 (fleur de pêcher).

Dioptase : $\overset{+}{R}$; vert émeraude (clivages || à rhomboèdre obtus).

Pennine : $\overset{\pm}{R}$ (dichroïque, brune, verte).

Kämmérérite : $\overset{-}{R}$; clivage a^1 (violette).

Biotite : pseudo $\overset{-}{H}$; clivage feuilleté; maximum d'absorption || secion principale du polariseur.

Tourmaline : $\overset{-}{R}$ (toutes couleurs); allongement axial; maximum d'absorption de la lumière ⊥ section principale du polariseur.

Corindon : $\overset{-}{R}$ (rouge de sang, écarlate, bleu, vert, jaune, etc.).

Calcaire : $\overset{-}{R}$; couleurs très vives; clivage p (105° env.).

Dolomie : $\overset{-}{R}$; couleurs irisées; clivages p (106° ½).

Breunérite : $\overset{-}{R}$; clivages p (env. 107°).

Oligiste : poussière rouge, opaque; $\overset{+?}{R}$.

Ilménite : poussière brune, opaque.

Graphite : H; opaque; poussière noire.

TABLEAU VII.

Formes géométriques et caractères optiques (*Suite*).

V. — ESPÈCES ORTHORHOMBIQUES

Mésotype : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || à clivages *mm* et à l'allongement.

Topaze : $\overset{+}{\mathrm{B}}$ $\perp$ clivage *p*, || à l'allongement.

Staurotide : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || à clivages *mm* et à l'allongement (polychroïque ; brun jaune, jaunâtre).

Talc : $\overset{=}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à clivage feuilleté et à l'allongement (non élastique).

Pyrophyllite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ clivage feuilleté; groupes en sphéroïdes de cristaux accolés suivant *p*.

Anthophyllite : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à clivages *m* (*mm* = env. 120°).

Gédrite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$.

Enstatite : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || clivage *mm* et à l'allongement (*mm* = 93° env.).

Bronzite : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || à clivages *mm* et à l'allongement (*mm* = 93° env.).

Sillimanite : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || à l'allongement et à clivage h^1.

Chrysotile : fibres positives.

Calamine : $\overset{+}{\mathrm{H}}$ parallèle aux clivages.

Warwickite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ clivage h^1 (polychroïsme).

Wavellite : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || à clivage h^1 et aux fibres.

Stilbite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || à plan de groupement g^1.

Dumortiérite : allongement négatif ; $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$; polychroïsme pseudo-hexagonal.

Hypersthène . $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || clivages *mm* (93°) ; trichroïsme.

Diaclasite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || clivages *mm* (93°) ; trichroïsme.

Péridot : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à clivage g^1 et à l'allongement ; incolore en lames minces ; biréfraction forte (vert bouteille en grains).

Antigorite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à plan des lames.

Cordiérite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à *p* ; trichroïsme (bleu, jaune, etc.).

Tridymite : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$; allongement négatif.

Diaspore : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à l'allongement.

Thomsonite : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à g^1 (clivages g^1, h^1).

Aragonite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || à l'allongement prismatique.

Chiastolite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || à clivages *mm* et à l'allongement.

Andalousite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ || à clivages *mm* et à l'allongement ; trichroïsme.

Mosandrite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ normale à clivage g^1 (brun, jaune).

Humite : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$; grains jaunes.

Lépidomélane, Rabenglimmer : clivages feuilletés (bruns, noirs).

Micas : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à clivage feuilleté *p* ; absorption maximum || à section principale du polariseur.

Fayalite : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ (noir, presque opaque).

Téphroïte : $\overset{-}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ (brun grisâtre).

Zoïsite : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à clivage h^1 ; allongement positif.

Gadolinite : brun, vert bouteille en lames minces.

Barytine : $\overset{+}{\mathrm{B}}{}^{ce}$ $\perp$ à h^1.

TABLEAU VII.

Formes géométriques et caractères optiques (*Suite*).

VI. — ESPÈCES MONOCLINIQUES.

Actinote : $\overset{-}{B}^{ce}$ à 15° de normale à h^1 (clivages $mm = 124°$); allongement positif.

Pargasite : $\overset{-}{B}^{ce}$; même allongement.

Arfvedsonite : $\overset{-}{B}^{ce}$; même allongement (vert foncé en lames minces; noir, presque opaque).

Glaucophane : $\overset{-}{B}^{ce}$; allongement positif.

Hornblende : $\overset{-}{B}^{ce}$; allongement positif; dichroïsme.
Smaragdite : mélange d'amphibole et de pyroxène (vert d'herbe).

Diopside : $\overset{+}{B}^{ce}$ à — 38° (vert clair en masse; clivages $mm = 187°$).

Diallage : $\overset{+}{B}^{ce}$ à 40° env.; clivage h^1.

Jaddite : $\overset{+}{B}^{ce}$ à 40° env.

Augite : $\overset{+}{B}^{ce}$ à 45° env.

Triphane : $\overset{+}{B}^{ce}$ à — 26°; allongement positif.

Delessite : $\overset{-}{B}^{ce}$ ⊥ à clivage p; allongement positif.

Carpholite : $\overset{-}{B}^{ce}$ ⊥ à g^1 et à l'allongement (jaune de miel en masse).

Œgyrine : $\overset{+-}{B}^{ce}$; allongement négatif; clivage h^1 (vert foncé).

Laumonite : $\overset{-}{B}^{ce}$ à — 70° de l'allongement.

Datolithe : $\overset{-}{B}^{ce}$ à 11° env. du clivage h^1.

Damburite : $\overset{-}{B}^{ce}$ ⊥ à g^1 pour le rouge et $\overset{+}{B}$ ∥ à g^1 pour le bleu.
Epidote : allongement ± normal au plan de symétrie (vert bouteille, etc.).
Allanite : ± normal au plan de symétrie (noir; souvent colloïde).
Orthite et Cérite : id.
Piémontite : ± normal au plan de symétrie; rouge brunâtre, cerise, presque opaque.

Clinochlores : $\overset{-}{B}^{ce}$ à 15°; allongement ± normal à plan de symétrie; clivage p feuilleté.

Ripidolithes : $\overset{+-}{B}^{ce}$ à 0°; allongement ± normal à plan de symétrie; à clivage p feuilleté.
Bucklandite : allongement ⊥ à clivages ph^1; noir, brun.
Achmite : dichroïque (noir, brunâtre).

Wollastonite : $\overset{-}{B}^{ce}$; allongement ∥ à intersection de ph^1; plan des axes g^1. Mâcles.
Sphène : forte dispersion; groupes en coins, en fonds de bateaux.
Keilhauite : mêmes propriétés.

Monazite : $\overset{+}{B}$.

Waguérite : clivage g^1; $\overset{+}{B}^{ce}$ presque normale.

Brewstérite : $\overset{+}{B}^{ce}$ ⊥ à g^1.
Harmotome, Christianite.

Gypse : $\overset{+}{B}^{ce}$ à 53° env.; allongement ± normal à plan de symétrie.
Euclase : bleu verdâtre, bleu ou incolore.

Saphirine : $\overset{-}{B}^{ce}$ à — 71°.

VII. — ESPÈCES BIOBLIQUES.

Disthènes : allongement positif; extinctions très obliques sur les fibres.
Feldspaths : voyez la description.
Amblygonite : clivages nombreux (m, p, i^1).
Axinite : violette, brune.
Babingtonite : noire, polychroïque.
Rhodonite : polychroïque (rose, vert bleuâtre).

ORDRE CHRONOLOGIQUE DES ROCHES ÉRUPTIVES ET SÉDIMENTAIRES

Au-dessus du soubassement formé par le granite fondamental et le gneiss qui s'y trouve associé, s'en distinguant souvent à peine par un feuilletage assez vague (gneiss granitiques, granites gneissiques), dont l'ensemble est appelé *terrain primitif*, on a pu, tantôt sur le flanc des collines ou des montagnes, tantôt dans les tranchées produites par les mouvements du globe, par les érosions ou même par l'industrie humaine, ou encore sur les affleurements des couches qui débordent au delà de plus anciennes, fixer l'ordre chronologique de leurs dépôts successifs.

On a classé ces dépôts en quatre grands *systèmes* ou *ères*, de durées fort inégales, caractérisés par des types différents d'êtres animés.

1° Système *primaire* ou *paléozoïque* : ère des trilobites (crustacés) et des poissons hétérocerques;

2° Système *secondaire* ou *mésozoïque* : ère des ammonites et des bélemnites ;

3° Système *tertiaire* où *cainozoïque* : ère des cérithes, nummulites, etc. ;

4° Système *quaternaire* ou ère de la faune et de la flore qui se développent encore en grande partie sous nos yeux.

Les systèmes ont été divisés en *terrains* ou *époques*; les terrains l'ont été en *étages*, ceux-ci souvent en *sous-étages* ; enfin, les étages sont subdivisés en *couches*.

Le noyau solidifié par le refroidissement séculaire peut être regardé comme composé d'enveloppes concentriques, dont les plus rapprochées du centre sont les plus récentes et invisibles.

Les couches qui se sont déposées au fond des mers, dans le lit des fleuves, ou qui ont été quelquefois apportées dans une région, semble-t-il par des phénomènes atmosphériques, se sont superposées, s'étageant les unes au-dessus des autres, les plus inférieures étant les plus anciennes, ordre inverse du précédent.

Quant aux masses éruptives, elles sont postérieures à celles qu'elles traversent ou qui les recouvrent.

Notre ouvrage étant restreint à la connaissance des roches et de leurs éléments, nous n'avons pas à exposer les procédés employés par les stratigraphes pour déterminer l'âge relatif des roches ; nous nous bornerons à présenter le résumé de leurs observations, d'après le *Traité de géologie* de M. de Lapparent, 3e édition.

Ère quaternaire ou pléistocène.

Dunes; Blocs erratiques et Dépôts glaciaires; Alluvions; Limons; Lœss ; Terre à briques ; Tufs calcaires; Bitumes ; Alluvions aurifères et platinifères (Oural).

Roches éruptives : Laves et scories basaltiques d'Auvergne (Espaly, Haute-Loire);

Domites et laves de la chaîne des Puys.

Ère tertiaire.

Série pliocène.

Étages:

Sicilien : Sables du Val d'Arno; Conglomérats de la Bresse;

Astien : Sables de l'Astésan; Sables et graviers (*Crag*) du Cotentin, etc.;

Plaisancien : Marnes du Plaisantin, Sables;

Roches éruptives : Basaltes porphyroïdes et Labradorites; Basalte des plateaux; Trachytes; Phonolithes; Brèches limburgitiques du Puy; Rhyolites de Hongrie et Transylvanie à spilites;
Minerais : de Plomb de Vialas (Lozère); Or dans les andésites de Schemnitz (Hongrie).

Série miocène.

Étages :
Pontien : Gypse et soufre dans les marnes de Sicile et de Toscane, Tripoli;
Sarmatien : Sables et Marnes en Autriche;
Tortonien : Marnes; Faluns; Mollasses; Alluvions sous-basaltiques d'Auvergne;
Helvétien : Faluns de Touraine; Mollasse en Suisse.
Burdigalien : Sables de la Sologne, de l'Orléanais; Mollasse de Lausanne;
Roches éruptives : Basaltes et Labradorites d'Auvergne, des provinces Rhénanes; Andésite et Cinérites du Cantal; Coulées de Phonolithes et de Trachytes du Mont-Dore; Nappe basaltique des Coirons; Dacite (dite *porphyre bleu* de Saint-Raphaël);
Minerais : Placers sous-basaltiques de la Californie, de l'Australie; Filon d'argent aurifère de Comstock-Lide, Nevada; Or argentifère dans la Dacite de Vorôspatack (Transylvanie).

Série oligocène.

Étages :
Aquitanien : 1. Calc. de la Beauce; 2. Meulières de Montmorency. — Pépérites de la Limagne; Schistes de Ménat;
Tongrien : 1. Sables de Fontainebleau; 2. Marnes à huîtres; 3. Calcaire de la Brie; 4. Glaises vertes; 5. Marnes supragypseuses; Arthose de la Limagne; Mollasse inférieure de Bâle; Gypse d'Ain; Sidérolithique de l'est et du centre de la France; Phosphorites du Quercy.

Série éocène.

Ludien : 1. Gypse parisien et Calcaire de Champigny; 2. Marnes de Ludes; 3. Sables infragypseux d'Argenteuil; Poudingue de Palasson;
Bartonien : 1. Calcaire de Saint-Ouen; 2. Sables de Mortefontaine; 3. Calcaire du Ducy; 4. Sables de Beauchamps; 5. Sables d'Auvers;
Lutétien : 1. Caillasses; 2. Banc vert; 3. Calcaire grossier à milliolites; 4. Calcaire à cérites géantes; 5. Calcaire à nummulites;
Yprésien : Sables nummulitiques de Cuise;
Sparnassien : Lignites et Argile plastique;
Thanitien : 1. Calcaire de Rilly; 2. Sables de Rilly et de Bracheux; Marnes de Meudon;
Roches éruptives : Basaltes de l'Inde (Dekkan), du Vicentin, Euphotides de Toscane; Granulite de l'île d'Elbe et de Tunisie; Ophites en partie;
Minerais : Minerais de cuivre de Boléo (Basses-Californie); du Monte-Catini, en Toscane; de Zinc (Santander, Espagne); de Mercure en Californie.

Ère secondaire.

Période ou terrain crétacé, crétacé supérieur.

Étages :
Danien : Calcaire pisolithique de Meudon, de Mons ;
Sénonien : Craie de Meudon, de Reims, de Sens ; Tuffeau de Maëstricht ; Quadersandstein supérieur en Allemagne ; Craie de Douvres ; Calc à Hippurites supérieur d'Aquitaine, des Pyrénées, etc.
Turonien : Craie marneuse ; Calcaire à hippurites des Pyrénées, de l'Asie, etc. ; Tuffeau de Touraine ; Quadersandstein inférieur ;
Cénomanien : Craie glauconieuse de Rouen ; Sables du Perche ; Tourtia de Mons.

Crétacé inférieur.

Étages :
Albien : Sables et Grès verts ;
Aptien : Calcaire (à plicatules, etc.) ;
Barrémien : Calcaires (à Requienia ammonia) ;
Néocomien : Calcaire de Neuchâtel ; Sable blanc du Bray.

Jurassique supérieur. Périodes ou terrains.

Purbeckien : Calcaires d'eau douce : Sables ;
Portlandien : Ciment de la Porte-de-France ; Calcaire de l'Echaillon ; Calcaire lithographique ;
Kimméridgien : Argiles (à *Ostrea virgula*) ; Calcaire de Lorraine, de Grenoble ; C. ruiniforme de Souabe ;
Séquanien : Sables (à *Ostrea deltoïdea*) ; Oolithe de Tonnerre ; Calcaire de Lérouville, de la Porte-de-France, etc. ;
Oxfordien : Marnes ; Argiles ; Calcaire oolithique ;
Callovien : Marnes de Dives ; Gaize de l'Ardenne ; Argile de l'Argonne.

Jurassique moyen.

Étages :
Bathonien : 1. Forest-marble ; 2. Grande Oolithe ; 3. Fullers-carth. Oolithe ferrugineuse ; Calcaires de Caen ;
Bajocien : Calcaire (à gryphées, à polypiers, à entroques). Schiste de Digne ; Calcaires oolithiques.

Jurassique inférieur ou lias.

Étages :
Toarcien : Calcaires schisteux, Oisans ; Ciment de Vassy ; Oolithe ferrugineuse (Lorraine), Schistes du Jura.
Charmoutien : Calcaire des Alpes ; Ciment de Pouilly ; Grès lignitifère de Kuremölla ;
Sinémurien : Calcaires (à gryphées arquées) ; Grès (du Luxembourg) : Marnes ;
Hettangien : Grès d'Hettange ; Marnes à lumachelles ;
Rhétien : Calcaire ; Grès de Kédange ; Arkoses de l'Auxois ; Calcaire à *avicula contorta* ;
Roches éruptives des époques jurassique et crétacée. Roche de Silésie (de la famille des Diabases) crétacées : Coulées et Nappes porphyritiques des Andes de l'Amérique du sud ; Porphyrites de l'Etat de Montana (jurassiques), du Colorado (crétacées) ;
Minerais : Calamine du Laurium, accompagnée de calcaire et

de schistes métamorphiques, peut-être crétacés ; certains filons d'hydrocarbonate de zinc et d'aragonite d'Espagne ; Galène dans les Arkoses et dans les Gryphées arquées du lias ; filons de galène du lias alpin, etc.

Terrain triasique.

Étages :

Carnien : Argiles irisées ; Dolomies ; Gypses ; Sel gemme ; Grès ;

Norien : Calcaire gris de fumée (dit Muschelkalk) ;

Virglorien : Dolomie ; Gypse ; Cargneule ; Grès rouge ;

Vosgien : Grès bigarré ; Grès des Vosges ; Quartzites de la Tarentaise ; Grès de Karoo en partie (au Cap) ;

Roches éruptives : Tufs porphyriques ; Mélaphyres ; Porphyrites dans le trias alpin ; Euphotides et Variolites ; Mélaphyres du Connecticut ; la plus grande partie sans doute des Ophites des Pyrénées ;

Minerais : Minerais de plomb, de la Silésie, du Morvan ; Calamine du Muschelkalk de Silésie ; Minerais cuprifères de Sain-Bel, de Chessy.

Ère primaire.

Terrains permiens.

Étages :

Thuringien : 1. Gypse : Cargneule ; Sel gemme de Stassfurt ; 2. Calcaire dit *zechstein* ; 3. Schistes bitumineux cuprifères ; Argiles ;

Saxonien : Grès rouge (Rothliegende) formé de tufs et conglomérats porphyritiques ; Schistes et Grès de Nébraska ; Verrucano ; Dolomies ;

Autunien : Schistes dits Bog-Head ; Grès d'Hartinsk ; Marnes ; Sables ;

Roches éruptives : Porphyres pétrosiliceux ; Diorites, Porphyrites et Brèches porphyritiques ; Minerais de cuivre disséminés dans les grès.

Terrain carbonifère.

Étages :

Stéphanien : Poudingues ; Schistes ; Houille (Commentry, Saint-Étienne, Rive-de-Gier, en partie ; Ronchamp, Vosges ; Calcaire de l'Oural ;

Moscovien : Grès fin (Millstone grit) ; Houille du Donetz, de Dourges, Auiche, Anzin, etc. ;

Dinantien ou Culm : Couches inférieures d'Ecosse ; Calcaires de Visé, de Dinant ; Grès anthracifères, Roannais, Forez, Morvan, L'Huisserie (Mayenne) ; Houilles de Moscou ; Grauwackes de Thann et des Etats-Unis.

Terrain dévonien.

Famennien : Schistes ; Psammites du Condros ; Griottes des Pyrénées, des Corbières, etc.

Frasnien : Marbre rouge de Flandres ; Calcaire de Ferques ; Schistes de Beaulieu ;

Givétien : Calcaires de Givet, de Blacourt ; Schistes de Caffiers ;

Eifélien : Schistes (à *calceola sandalina*) ; Calcaire de Couvins, etc.

Coblentzien : Poudingues de Burnot ; Grès de Vireux ; Calcaire de Néhac ; Grès d'Oriskany ;

Gedinnien : Schistes du Hunsrück ; Poudingues de Fépin ; Quartzites ;

Roches éruptives du carbonifère et du dévonien ; Porphyrites micacées : Porphyres globulaires : Mélaphyres et Spilites (houillers) : Porphyrites et Tufs porphyritiques ; Porphyres du Morvan et du plateau central ; Porphyres quartzifères de Brest et Korsanton ; Pegmatite et Granulite avec Greisen stannifère du Cornouailles, du Morbihan, du Limousin ;

Minerais : Calamine de Moresnet (Vieille-Montagne) ; Sidérose lithoïde houillère ; Minerais de plomb de Clausthal et du Harzt ; Minerais de mercure d'Almaden (Espagne) ; d'étain de Vaulry, Limousin (houiller) et du Cornouailles (dévonien) ; Oligiste ; Or des conglomérats pyritifères du Transvaal.

Terrain silurien.

Étages :

Gothlandien à graptolithes : 1. Calcaire d'Aimestry ; Schiste de Ludlow ; Ampélites ; Phtanites ; Grès ; 2. Couches de Wenlock ; Ampélites ; Grès de Clinton ; Calcaire du Niagara ; 3. Couches de Llandovery.

Ordovicien : 1. Couches de Caradoc ; Grès de May ; Schistes d'Hudson river, etc. ; 2. Couches de Llandeilo ; Schistes d'Angers : Grès et Calcaires aux Etats-Unis ; 3. Couches d'Arenig ; Schistes alunifères ; Grès armoricain.

Étages :

Cambrien : Couches de Trémadoc (à Lingules) ; Grès de Postdam ; Arkose de Normandie ; Phyllades ; 2. Schiste set Phyllades de Reviu, Deville (Ardennes) ; Calcaire de Nevada ; 3. Schistes et Ardoises de Fumay (Ardennes) ; Quartzites, etc.

Précambrien : Phyllades de Saint-Lô ; Schistes de Bretagne, avec macles et staurotides ; Schistes à séricite, à paragonite ; Calcaire (à eozoon) ; Conglomérats du lac Supérieur ; Itacolumites et Itabirites du Brésil avec oligiste, or, oxydes de titane ; Schistes chloriteux ; Schistes alternes avec granulites.

Roches éruptives : Porphyrites en filons, en nappes avec brèches et tufs ; Diabases ; Porphyres pétrosiliceux ; Diorites ; Granites ; Pegmatites ;

Minerais : de cuivre des schistes de Norvège, du Nassau, de l'Oural ; Minerais de plombs de Przibram (Bohême cambriens).

Or des montagnes Rocheuses, des filons de Bérézowsk ; Or et Argent natif des conglomérats et diabases du lac Supérieur (précambriens).

Terrain primitif.

Roches cristallines grenues et feuilletées : Granite, Gneiss, Schistes micacés, talqueux, amphiboliques.

Minerais : Magnétite et Oligiste des schistes primitifs, au Rammelsberg, Hartz ; Magnétite et Oligiste intercalés dans les gneiss de la Scandinavie, dans les gneiss amphibolifères du Taberg (Suède), dans les schistes cristallins de Traverselle, de Cogne, en Piémont, dans les gneiss à Mokta-el-Hadid, Algérie ; Or du Dakota ; Pyrites aurifères de Norvège, Blende, Galène, Argent et ses sulfures en Suède.

BIBLIOGRAPHIE

MINÉRALOGIE ET CRISTALLOGRAPHIE

TRAITÉS GÉNÉRAUX

BRAVAIS. — *Études cristallographiques.* Paris, 1864.

DANA (J. D.). — *The System of Mineralogy.* 6e édition, New-York, 1892.

DES CLOIZEAUX. — *Manuel de Minéralogie.* 1862-1893.

DELAFOSSE. — *Nouveau cours de Minéralogie.* 1862.

DUFRÉNOY. — *Traité de Minéralogie.* 2e édition, Paris, 1856-1859.

FOUQUÉ et MICHEL LÉVY. — *Minéralogie micrographique.* Paris, 1879.

FRIEDEL. — *Cours de Minéralogie.* 1893.

GOLDSCHMID (V.). — *Index der Krystallformen der Mineralien.* Berlin, 1886-1891.

GROTH (P.). — *Physikalische Krystallographie.* Leipzig, 1895.

— *Tabellarische Uebersicht der einfachen Mineralien nach ihren krystallographisch-chemischen Beziehungen geordnet.* 4e édition, Braunschweig, 1898.

HAUY. — *Traité de Minéralogie.* 3e édition, 4 vol. et l'Atlas, Paris, 1822.

HINTZE (K.). — *Handbuch der Mineralogie* (en cours de publication).

KOKSCHAROW (V.). — *Materialen zur Mineralogie Russlands.* 11 vol. 1853-1893.

LACROIX (A.). — *Minéralogie de la France et de ses colonies* (en cours de publication). Paris, Baudry.

LAPPARENT (A. DE). — *Cours de Minéralogie.* 2e édition, Paris, 1889. — *Traité de géologie*, 3e édition.

LIEBISCH. — *Geometrische Krystallographie.* Leipzig, 1881.

— *Physikalische Krystallographie.* Leipzig, 1881.

MALLARD (E.). *Traité de cristallographie géométrique et physique.* Paris, 1879-1884.

MASKELINE (N.-S.). — *Cristallography, a treatise on the Morphology of Crystals.* Oxford, 1895.

MICHEL LÉVY (A.) et LACROIX (A.). — *Les Minéraux des roches.* Paris, 1888.

NAUMANN (C. F.). — *Elemente der Mineralogie* (revu par F. ZIRKEL, 13e édition, 1897).

RAMMELSBERG. — *Handbuch der Mineralchemie.* Leipzig, 1895 à 1896.

SORET (Ch.). — *Éléments de cristallographie physique.* 1893.

TSCHERMAK. — *Lehrbuch der Mineralogie.* 4e édition, 1894.

WALHAND. — *Traité de minéralogie.* Paris.

WYROUBOLFF. — *Manuel pratique de cristallographie.* 1889.

ÉD. JANNETTAZ, ÉMILE VANDERHEYM, FONTENAY, COUTANCES. — *Diamants et pierres précieuses,* 1881.

OUVRAGES GÉNÉRAUX SUR LES ROCHES

BERWERTH (Fr.). — *Mikroskopische structurbilder der Massengesteine in farbigen Lithographien.* En cours de publication.

COHEN (E.). — *Zusammenstellung petrographischer Untersuchungsmethoden.* 3e édition.

LACROIX (A.). — *Les enclaves des roches volcaniques.* 1893.

MICHEL-LÉVY. — *Structure et classification des roches éruptives.* Paris, 1889.

ROSENBUSCH. — *Mikroskopische physiographie der massigen Gesteine.* 3e édition, 1892-1896. — *Elemente der Gesteinlehre.* Stuttgart, 1898.

ROTH (J.). — *Allgemeine Geologie.* 3 vol. in-8.

TEALL. — *British Petrography.* Londres, 1888.

ZIRKEL (F.). — *Lehrbuch der Petrographie.* 2e édition, 3 vol. in-8, 1894.

VÉLAIN. — *Cours élémentaire de géologie.* Paris.

DRÖGGER. — *Die Eruptivgesteine des Kristiania gebietes.* Christiania, 1898.

GISEMENTS MÉTALLIFÈRES

FUCHS et DE LAUNAY. — *Traité des gîtes minéraux.*

V. GRODDECK. — *Traité des gîtes métallifères.*

G. MOREAU. — *Étude industrielle des gîtes métallifères.*

SYNTHÈSES DES MINÉRAXU ET DES ROCHES

L. BOURGEOIS. — *Reproduction artificielle des minéraux.* 1 vol., 1884.

F. FOUQUÉ et A. MICHEL LÉVY. — *Synthèses des minéraux et des roches.* 1882.

STANISLAS MEUNIER. — *Les méthodes de synthèse en minéralogie.* 1891.

ANALYSE CHIMIQUE ET MICROCHIMIQUE

BEHRENS et BOURGEOIS. — *Analyse qualitative microchimique, Encyclop. chimique.* 1 vol. 1893.

DITTE. — *Traité élémentaire d'analyse qualitative.* 1 vol. in-8.

Frésénius. — *Analyse chimique qualitative et quantitative*. 2 vol.
Haushofer. — *Mikroskopische Reactionen*. 1885.
Éd. Jannettaz. — *Le Chalumeau*. 1876.
Stanislas Meunier. — *Guide dans la collection des météorites du Muséum*, Paris.
Pisani. — *Traité d'analyse chimique* Paris.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Em. Bertrand. — *De l'application du microcospe à l'étude de la Minéralogie* (Bull. de la Soc. de Min., t. III, 1880).
— *Sur les propriétés optiques des corps cristallisés presentant la forme sphérolitique* (Ibid.).
Des Cloizeaux. — *Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques bifréringentes propres à déterminer le système cristallin des cristaux naturels ou artificiels* (Ann. des Mines, VI, 1864).
— *De l'emploi des propriétés optiques biréfringentes en minéralogie*. Paris, 1857.
— *Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux naturels ou artificiels et sur les variations que ces propriété éprouvent sous l'influence de la chaleur* (Ac. des Sc. Mém. des sav. étrangers, t. XVIII. 1867).
— *Examen microscopique de l'orthose et des divers feldspaths tricliniques* (C. R., 1876, LXXXII).
Dufet. — C. R. 1878, t. LXXXVI; 1880, t. XCI; 1884, t. XCVIII, t. XCIX; *Bull. Soc. fr. min., passim.*
F. Fouqué. — *Contribution à l'étude des feldspaths des roches volcaniques* (Bull. de la Soc. fr. de Min., t. XVII, p. 1894).
Ed. Jannettaz. — *Mémoires sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés* (Ann. ch. et ph., 4e série, t. XXIX, p. 5; Bulletin de la Société géologique de France, *passim*; Bull. Soc. fr. de min., t. XV, 1892, p. 133 et *passim*).
— *Sur certaines anomalies optiques des cristaux du système régulier* (Bull. Soc. fr. de Min., t. II, p. 124 et p. 191).
A. Lacroix. — *Sur le diagnostic des zéolithes en l'absence de formes cristallines déterminables* (Bull. Soc. min., 1885, VIII, 321-365).
Mallard. — *Explications des phénomènes optiques anormaux que présentent un grand nombre de substances cristallisées* (Ann. des Mines, X, 1876). — *Traité de cristallographie physique*, t. II.
Michel Lévy. — *De l'emploi du microscope polarisant à la lumière parallèle pour l'étude des plaques minces de roches éruptives* (Ann. des Mines, XII, 1877).

Michel Lévy. — *Mesure du pouvoir biréfringent des minéraux en plaques minces* (Bull. Soc. min. de France, VI, 143).

— *Étude sur la détermination des feldspaths dans les plaques minces au point de vue de la classification des roches.* 2 fasc. 1894-1895.

Soret. — *Archives des Sciences physiques et naturelles*, 1892, XXVII, 973.

Tuschschmid. — *Das innere Wärmeleitungsvermögen von quartz*, etc. Thèse. Zurich, 1833.

H. F. Weber. — *Wied. Ann.* 1880, X, 103.

Bäckström. — *Ofvers.* Akad. Stockolm, 1888, 543.

J. Curie. — *Ann. de chimie*, 1889, t. XVII, 385 et t. XVIII, 203.

Fizeau. — C. R., 1864, LVIII; 1865, LX, LXII ; 1867, LXIV; 1868, LXVI.

C. Friedel. — *Bull. soc. min.* 14, 31. — C. Friedel et Curie, même bulletin, 1882, V; 1883, VI ; 1885, VIII. — C. Friedel et A. de Gramont, même bulletin, 1885, VIII.

MÉMOIRES SPÉCIAUX SUR LES ROCHES FRANÇAISES

Barrois (Ch.). — *Mémoire sur le granite de Rostrenen (Côtes-du-Nord), ses apophyses et ses contacts* (Ann. Soc. géol. du Nord, XII, 1884).

— *Sur les modifications endomorphes des massifs granulitiques du Morbihan* (C. R., 1888, CVI, 428).

— *Observations préliminaires sur les roches de Laumeur* (Ann. Soc. géol. Nord, 1888, XV, 238).

— *Mémoire sur les éruptions diabasiques siluriennes du Mentz-Hom (Finistère)* (Bull. de la carte géol. de France, n° 7).

Boule (M.). — *Description géologique du Velay* (Bull. du Service de la carte géol. de France, n° 28, Paris, 1892).

Brögger (W. C.). — *Mineralien der syenitpegmatitgänge der südnorwegischen Auzit-und nephelinsyenit* (Zeitsch. f. Kryst., t. XVI, 1890).

J. Curie et Flamand. — *Étude sur les roches de l'Algérie.* 1889.

Fouqué (F.). — *Santorin et ses éruptions.* 1879.

De Lapparent. — *Note sur les roches éruptives de l'île de Jersey* (Ann. Soc. Sc. de Bruxelles, 1892, XVI).

A. Lacroix. — *Contributions à l'étude des gneiss à pyroxène et des roches à wernréite* (Bull. Soc. f. de Min., XII, 1889).

— *Description des syénites néphéliniques de Pougue et de Montréal et de leurs phénomènes de contact* (Bull. Soc. géol. de France, XVIII, 511, 1890).

— *Contribution à l'étude des roches volcaniques de l'Ariège* (Bull. de la cart. géol. de France, 1890).

— *Les phénomènes de contact de la lherzolite et de quelques ophites des Pyrénées* (Bull. Cart. géol. de France, 1895, n° 42).

A. Lacroix et Michel Lévy. — *Leucotéphrite à pyroxène de la base du Culm du Mâconnais* (Ibid., n° 45).
— *Phénomènes de contact de la lherzolite et des diabases ophitiques* (Ibid., n° 53).
— *Tufs volcaniques en liaison avec les ophites* (Ibid.).
— *Phénomènes de contact du granite.*
— *Granite prétendu postcrétacé des Pyrénées-Orientales.*
— *Les enclaves des roches volcaniques.* 1 vol. in-8.
De Launay. — *Note sur les gisements de kaolin de la forêt des Colettes* (Bull. Soc. géol. de France, 1888, XVI, 1865.)
Le Verrier. — *Sur une venue de granulite à riebeckite de Corse* (C. R., 1889, CIX, 38).
Michel Lévy. — *Note sur quelques ophites des Pyrénées* (Bull. Soc. géol. de France, 1877, 3e série, t. VI).
— *Les schistes micacés des environs de Saint-Léon (Allier)* (Ibid., 3e série, t. IX, 1881).
— *Note sur les roches éruptives et cristallines des montagnes du Lyonnais* (Ibid., t. XVI, 1887).
— *Note sur l'origine des terrains cristallins primitifs* (Ibid., 3e série, t. XVII, 1887).
— *Note sur la chaine des Puys, le Mont-Dore et les éruptions de la Limagne* (Ibid., t. XVIII, 1890).
— *Étude sur les roches cristallines et éruptives des environs du Mont-Blanc* (Bull. de la carte géol. de France, 1890).
— *Note sur la prolongation vers le sud de la chaine des Aiguilles-Rouges, montagnes de Pormenaz et de Prarion* (Ibid., 1892).
— *Contribution à l'étude du granite de Flamanville et des granites français en général* (Bull. de la cart. géol., t. V, 1893).
— *Mémoire sur le porphyre bleu de l'Esterel*) (Ibid., n° 57 1895).
— *Classification des magmas des roches éruptives* (Bull. de la Soc. géol. de France, 3e série, t. XXV, 1897).
L. Termier. — *Étude sur le massif cristallin du Mont-Pilat* (Bull. de la carte géol. de France, n° 1).
— *Les éruptions du Velay* (Ibid., n° 13).

PUBLICATIONS DE L'AUTEUR RELATIVES AUX ROCHES

Note sur les minéraux et les roches recueillis dans l'Alaska et les îles Aléoutiennes, par M. A. Pinart (Bull. Soc. géol. de Fr., 3e série, t. III, p. 122 (1874 et 1875). — *Sur la propagation de la chaleur dans les*

roches schisteuses (même tome, p. 264). — *Notes sur l'analyse minéralogique de quelques roches de la Haute-Savoie; sur la conductibilité des roches pour la chaleur* (même publication, t. IV (1876), p. 116, 449, 553). — *Relation entre la Propagation de la chaleur et l'Élasticité sonore dans les roches et les corps cristallisés* (même publication, t. V (1877), p. 410; t. VI, p. 203). — *Sur la propagation de la chaleur et se rapports avec les clivages des roches et les mouvements du sol* (t. IX (1881), p. 196). — *Sur la paragonite schistofibreuse de Changé (Mayenne)* (t. X, 1882, p. 396). — *Étude du longrain et de la schistosité dans les roches* (t. II (1882), p. 35). — *Mémoire sur les clivages des roches et leur reproduction* (t. XII (1884), p. 211; t. XIII, p. 131; t. XVI, p. 133). — *Sur les observations de M. Spring relatives à l'influence de la pression sur les combinaisons et les cristallisations* (Bull. Soc. ch. Paris, t. XL et XLI, 1884).

N.-B. — Nous arrêtons ici la liste des mémoires que nous avons consultés pour la publication de cet ouvrage; une liste complète exigerait un volume spécial. Nous ne ferons qu'indiquer les noms des savants français : Gaudin, Ebelmen, de Senarmont, Becquerel, Saint-Claire-Deville, Debray, Daubrée, MM. Hautefeuille, Ch. et G. Friedel, Léopold Michel, Stanislas Meunier, Léon Bourgeois, Verneuil, dont les mémoires sur la reproduction des espèces minérales nous ont paru étrangers à notre sujet. Pour les recherches bibliographiques, on peut consulter les tables des *Bulletins de la Société géologique de France*, de la *Société française de minéralogie*, des *Annales de chimie et de physique*, des *Annales de Poggendorff*, du *Neues Jahrbuch für Min. Geol. Pal.*, Stuttgard, et du *Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie*, von P. Groth, Leipzig.

ERRATA ET ADDITIONS

Page 66, *au lieu de* : CHAPITRE VIII, *lisez* : CHAPITRE IX.

Page 69, *au lieu de* : CHAPITRE IX, *lisez* : CHAPITRE X.

Page 73, ligne 23, *au lieu de* : dans, *lisez* : qui servent à déterminer.

Page 81, ligne 17, *au lieu de* : $t = m\mathrm{T}$, *lisez* : $t = \frac{m}{2}\mathrm{T}$.

Page 102, ligne 19, *au lieu de* : ABA', *lisez* : BAA'.

Page 124, ligne 10, *au lieu de* : fig. 116, *lisez* : planche I.

Page 137, ligne 1 de la note, *au lieu de* : fig. 127 et 128, *lisez* : fig. 125 et 126

Page 154, ligne 2, *ajoutez* :

Dans la formule qui exprime la valeur de tg V, l'angle V est celui d'un axe optique OT et de l'axe OX de plus grande élasticité (fig. 106); c'est le cas d'une bissectrice aiguë négative.

Dans le cas d'une bissectrice aiguë positive, on aurait le rapport inverse

$$\mathrm{tg}^2\,\mathrm{V} = \frac{n_g^2}{n_p^2} \quad \frac{n_m^2 - n_p^2}{n_g^2 - n_m^2}.$$

Page 155, ligne 8, *au lieu de* : $f_a o f_a'$, *lisez* : $b_0 o b_0'$.

Page 155, ligne 5 en remontant et pages 185, 187, 189, 191, dans les titres des pages, *au lieu de* : conductibilité par la chaleur, *lisez* : conductibilité pour la chaleur.

Page 163, ligne 2, *au lieu de* : n^2, *lisez* . x^2.

Pages 170 et 171 : *a* désigne l'axe antéropostérieur (le plus rapproché de la base dans les systèmes cristallins à base oblique, et *b* l'axe allant de droite à gauche) axe de symétrie dans les systèmes ortho et clinorhombibues; *c* est l'axe le plus voisin de la direction h^1g^1.

Page 292. La première ligne devrait commencer par : Tétradymite ou Bornine, tellurosulfure de bismuth, sélénifère, rhomboédrique, en cristaux mous.

Page 343, ligne 15. Quartzine; *ajoutez* :

Nous croyons devoir signaler ici le résultat des dernières recherches de M. Wallerant sur ce sujet (*Bull. Soc. fr. de Min.*, 1897, t. XX, p. 52). La calcédoine est formée, comme il a été dit p. 343 de cet ouvrage, de fibres allongées normalement à la bissectrice aiguë (n_g), cette bissectrice s'enroulant autour de la direction des fibres d'une manière continue. D'après M. Wallerant, le quartz est composé de quartzine, dont l'allongement est parallèle à la bissectrice aiguë n_g et dont l'enroulement autour de la direction d'allongement se fait par sauts brusques, de 120 en 120°.

Page 539, ligne 1 en remontant; *lisez* : La *Ponce*, variété d'obsidienne, vacuolaire, rendue semblable à un réseau irrégulier de filaments vitreux par un dégagement de vapeurs ou de gaz, apparaît...

INDEX PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE

DES SUJETS ET DES ESPÈCES MINÉRALES OU DE ROCHES

ÉTUDIÉS DANS CET OUVRAGE.

TABLE DES MATIÈRES

TROISIÈME LIVRE. — LES ROCHES.

PREMIÈRE PARTIE. — GÉNÉRALITÉS SUR LES ROCHES.

DEUXIÈME PARTIE. — DESCRIPTION DES ROCHES

IMP. CAMIS ET Cie, PARIS. — SECTION ORIENTALE A. BURDIN, ANGERS.


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06442 3968